

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

Навчально-науковий Інститут телекомунікаційних систем

Кафедра електронних комунікацій та інтернету речей

«До захисту допущено»

ВО завідувача кафедри

_____ В'ячеслав НОСКОВ

«__» _____ 20__ р.

Дипломна робота

на здобуття ступеня бакалавра

**зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
на тему: «Законодавство та стандартизація ЄС з забезпечення
розгортання та оперативного використання інтелектуальних
транспортних систем»**

Виконав :

студент IV курсу, групи ТС-12

Борейко Артем Петрович _____

Керівник:

Проф. кафедри електронних комунікацій та
інтернету речей Горицький В.М. _____

Рецензент:

старший викладач СК №5 ІСЗЗІ

Мітін С.В. _____

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
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 – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітня програма – «Системи електронних комунікацій та інтернету речей»

ЗАТВЕРДЖУЮ

ВО завідувача кафедри

_____ В'ячеслав НОСКОВ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Борейко Артему

1. Тема роботи «Законодавство та стандартизація ЄС з забезпечення розгортання та оперативного використання інтелектуальних транспортних систем», керівник роботи Горицький Віктор Михайлович, професор кафедри ТС, затверджені наказом по університету від «26»Травня 2025 р. №1755-С
2. Термін подання студентом роботи 10 червня 2025
3. Вихідні дані до роботи: ДИРЕКТИВА 2010/40/ЄС ЄВРОПЕЙСЬКОГО ПАРЛАМЕНТУ ТА РАДИ, Зміни до ДИРЕКТИВИ 2010/40/ЄС (2023), стандарт ISO 21217:2020. Структурований план порядку розробки матеріалів дипломної роботи.
4. Зміст роботи
 - 1) Поняття інтелектуальних транспортних систем:
загальний історичний огляд розвитку інтелектуальних транспортних систем в країнах світу;
інтелектуальні транспортні системи для транспортних засобів як IoT;

Директива 2010/40/ЄС щодо основи для розгортання інтелектуальних транспортних систем у сфері автомобільного транспорту та для інтерфейсу з іншими видами транспорту.

зміни до Директиви 2010/40/ЄС у 2010 – 2025 роках;

поняття національної точки доступу в ІТС ЄС.

2) Міжнародні стандарти по ІТС. Стандарт ISO 21217:2020.

3) Аналіз впровадження стандартів по ІТС на практиці.

4) Оцінка ефективності використання стандарту ISO 21217:2020

5. Перелік ілюстративного матеріалу 1) Мета та завдання дослідження; 2) Актуальність теми; 3) Історичний огляд розвитку ІТС; 4) Нормативно-правова база ЄС; 5) Стандарт ISO 21217:2020; 6) Національні точки доступу (NAP); 7) Інформаційно-комунікаційні технології ІТС; 8) Приклади впровадження ІТС у Європі; 9) Проблеми та перспективи впровадження ІТС в Україні; 10) Висновки дипломної роботи.

6. Дата видачі завдання 10 квітня 2025

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз отриманого завдання	02.04.2025-05.04.2025	Виконано
2	Визначення мети дипломної роботи. Розробка змісту	06.04.2025-10.04.2025	Виконано
3	Написання вступної частини, та першого розділу	11.04.2025-15.04.2025	Виконано
4	Написання другого розділу	16.04.2025-20.04.2025	Виконано
5	Написання третього розділу	21.04.2025-25.04.2025	Виконано
7	Написання четвертого розділу	30.04.2025-15.05.2025	Виконано
8	Написання висновків, та загального висновку дипломної роботи	16.05.2025-22.05.2025	Виконано
9	Підготовка презентації для захисту	31.05.2025-13.06.2025	Виконано
10	Оформлення дипломного проекту	23.05.2025-30.05.2025	Виконано

Студент

Артем БОРЕЙКО

Керівник роботи

Віктор ГОРИЦЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 71 с., 4 рис., 24 джерел., таблиці 3

Мета роботи – Дослідження сучасного стану та перспектив застосування інформаційно-комунікаційних технологій з забезпечення розгортання та оперативного використання інтелектуальних транспортних систем у сфері автомобільного транспорту..

У дипломній роботі проведено системне дослідження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) у контексті їхньої архітектури, стандартів і перспектив впровадження в Україні. Надано визначення ІТС як сукупності інформаційних та комунікаційних технологій, що забезпечують підвищення безпеки, ефективності та сталості транспортної інфраструктури. Розглянуто історичні етапи розвитку ІТС, взаємозв'язок із концепцією Інтернету речей (IoT), а також нормативну базу Європейського Союзу, зокрема Директиву 2010/40/ЄС і пов'язані з нею оновлення.

Особливу увагу приділено аналізу стандарту ISO 21217:2020, який визначає архітектуру стаціонарного зв'язку для ІТС. Описано його ключові компоненти, принципи побудови комунікаційного стеку, взаємодію з іншими стандартами (ISO 21218, ISO 24102, ISO 24101), а також значення стандартизації для забезпечення інтероперабельності в багатокомпонентних транспортних системах.

Практична частина дослідження включає оцінювання ефективності впровадження ІТС на основі методологій, таких як SWOT-аналіз і вимірювання продуктивності за ключовими показниками (затримка, доступність, безпека). Наведено демонстраційні сценарії функціонування ІТС на основі симуляцій, що моделюють обмін повідомленнями CAM, інтеграцію з мережами 5G, V2X і використання елементів штучного інтелекту для прийняття рішень у режимі реального часу.

Розглянуто перспективи подальшого розвитку ІТС у контексті цифровізації транспортної інфраструктури, а також запропоновано комплекс

рекомендацій щодо впровадження ІТС в Україні. У роботі акцентовано увагу на потребі адаптації європейських стандартів, створення національної точки доступу до транспортних даних, участі в міжнародних пілотних проєктах, а також на необхідності формування нормативно-правової та технічної бази для повноцінного функціонування систем розумного транспорту.

Ключові слова: Інтелектуальні транспортні системи, ISO 21217, IoT, Директива 2010/40/ЄС, V2X, 5G, Штучний інтелект, Кооперативна обізнаність (СAМ), Сумісність, Стандартизація, Архітектура ІТС, Комунікаційний стек, Надійність, Безпека, Мобільність, Сталий розвиток, SWOT-аналіз, Продуктивність, Пілотні проєкти, Цифрова інфраструктура, Національна точка доступу.

ABSTRACT

Thesis content: 71 pages, 4 figures, 24 references.,3 tables

The aim of the thesis Research on the current state and prospects of applying information and communication technologies to support the deployment and operational use of intelligent transport systems in the field of road transport.

This thesis presents a comprehensive study of Intelligent Transport Systems (ITS) in the context of their architecture, standards, and implementation prospects in Ukraine. It defines ITS as a set of information and communication technologies aimed at enhancing the safety, efficiency, and sustainability of transport infrastructure. The historical development of ITS is reviewed, as well as its integration with the Internet of Things (IoT) concept and the regulatory framework of the European Union, particularly Directive 2010/40/EU and its subsequent amendments.

Special attention is given to the analysis of ISO 21217:2020, which specifies the architecture for stationary communications in ITS. The thesis describes its key components, communication stack principles, interaction with other relevant standards (ISO 21218, ISO 24102, ISO 24101), and the importance of standardization for ensuring interoperability in multi-component transport environments.

The practical section of the research includes an evaluation of ITS implementation effectiveness based on methodologies such as SWOT analysis and performance measurement across key indicators (latency, availability, and security). Demonstration scenarios are presented, simulating the operation of ITS systems using Cooperative Awareness Messages (CAM), integration with 5G, V2X networks, and artificial intelligence technologies for real-time decision-making.

The study also explores the future development of ITS within the framework of digital transport infrastructure and offers a set of recommendations for ITS deployment in Ukraine. The work emphasizes the need for adaptation of European

standards, the establishment of a national access point for transport data, participation in international pilot projects, and the development of a regulatory and technical foundation to support the full-scale operation of smart transport systems.

Keywords: Intelligent Transport Systems, ISO 21217, IoT, Directive 2010/40/EU, V2X, 5G, Artificial Intelligence, Cooperative Awareness Messages (CAM), Interoperability, Standardization, ITS architecture, Communication stack, Reliability, Security, Mobility, Sustainable development, SWOT analysis, Performance, Pilot projects, Digital infrastructure, National Access Point

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І	
ТЕРМІНІВ	11
ВСТУП	13
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ	
СИСТЕМ (ІТС)	15
1.1 Загальні поняття та історія розвитку ІТС	15
1.1.1 Визначення інтелектуальних транспортних систем	15
1.1.2 Історичний огляд розвитку ІТС у світі.....	16
1.1.3 Інтелектуальні транспортні системи як елемент Інтернету речей	
(IoT).....	18
1.2 Європейська нормативно-правова база у сфері ІТС.....	19
1.2.1 Директива 2010/40/ЄС: цілі, структура та вплив	19
1.2.2 Зміни до Директиви у 2010–2025 роках.....	21
1.2.3 Поняття національної точки доступу в ІТС ЄС.....	23
1.3 Класифікація та приклади застосування ІТС	26
1.3.1 Системи підтримки водія (ADAS), управління рухом, електронні	
платформи.....	26
1.3.2 ІТС для взаємодії між видами транспорту.....	28
1.3.3 Вплив ІТС на безпеку, мобільність і сталий розвиток	30
2 СТАНДАРТИЗАЦІЯ ІТС ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ISO	
.....	31
2.1 Міжнародні стандарти у сфері інтелектуальних транспортних систем	
.....	31
2.1.1 Огляд основних стандартів ISO, ETSI, IEEE	31
2.1.2 Значення стандартизації для сумісності ІТС	35

2.2 Стандарт ISO 21217:2020 – Архітектура стаціонарного мережевого вузла	35
2.2.1 Основні принципи та структура стандарту.....	35
2.2.2 Компоненти комунікаційної архітектури	38
2.2.3 Взаємодія ISO 21217 з іншими стандартами	39
2.3 Аспекти реалізації системи на основі ISO 21217.....	40
2.3.1 Технічні та програмні вимоги	40
2.3.2 Сценарії застосування та підтримка мобільності.....	42
2.3.3 Забезпечення безпеки та стійкості комунікаційної платформи..	44
3 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ.....	47
3.1 Аналіз прикладів впровадження ІТС у різних країнах.....	47
3.1.1 Європейський досвід розгортання систем на базі ISO 21217	47
3.1.2 Розгляд національних стратегій та підходів (ФРН, Франція, Нідерланди)	47
3.1.3 Приклади пілотних проєктів в Україні	50
3.2 Оцінка ефективності використання ІТС і стандарту ISO 21217	52
3.2.1 Методології оцінювання ефективності	52
3.2.2 Показники продуктивності: затримка, безпека, доступність.....	54
3.2.3 Висновки щодо доцільності впровадження	55
3.3 Перспективи розвитку ІТС в контексті цифрової інфраструктури...	56
3.3.1 Напрями подальших досліджень та інновацій	56
3.3.2 Інтеграція ІТС з 5G, V2X та штучним інтелектом (AI)	59
3.3.3 Рекомендації щодо впровадження ІТС в Україні.....	60
4 ІЛЮСТРАТИВНІ ТА ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ	64
4.1 Схеми, блок-діаграми, моделі архітектури ІТС	64
4.2 Презентації та плакати щодо ISO 21217 та директиви.....	65

	10
ВИСНОВКИ.....	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ITS (Інтелектуальні транспортні системи) – комплекс технологій, що використовуються для підвищення ефективності, безпеки та сталості транспортної інфраструктури.

ICT (Інформаційно-комунікаційні технології) – технології обробки, передачі та збереження інформації, що використовуються в ITS.

IoT (Інтернет речей) – концепція взаємозв'язку фізичних пристроїв через інтернет для збору, передачі та аналізу даних.

V2X (Vehicle-to-Everything) – технологія комунікації транспортного засобу з усіма навколишніми об'єктами (іншими авто, інфраструктурою, пішоходами тощо).

CAM (Cooperative Awareness Message) – кооперативне інформаційне повідомлення, яке передається транспортними засобами для покращення обізнаності про дорожню ситуацію.

DENM (Decentralized Environmental Notification Message) – повідомлення про зміну навколишнього середовища (наприклад, аварії, погодні умови), що передається в ITS.

NAP (Національна точка доступу) – централізований портал для обміну даними ITS між учасниками транспортної екосистеми ЄС.

ETSI (Європейський інститут телекомунікаційних стандартів) – організація, яка розробляє стандарти для ITS, включаючи V2X і CAM/DENM.

ISO (Міжнародна організація зі стандартизації) – міжнародна структура, що створює стандарти, зокрема в галузі ITS (наприклад, ISO 21217).

IEEE (Інститут інженерів з електротехніки та електроніки) – професійна організація, яка також розробляє стандарти в області бездротового зв'язку (наприклад, IEEE 802.11p).

ITS-S (Intelligent Transport System Station) – функціональна одиниця ІТС, яка взаємодіє з іншими вузлами системи (інфраструктурою, транспортом, мережами).

ISO 21217 – стандарт, який описує базову архітектуру ІТС-станції.

ISO21218/ISO24102– стандарти, що деталізують нижні рівні комунікаційного стеку та управління ІТС-станціями.

QoS (Quality of Service) – якість обслуговування в мережах, важлива для ІТС при передачі критично важливої інформації.

SWOT-аналіз – метод стратегічного аналізу сильних і слабких сторін, можливостей та загроз при впровадженні ІТС.

ВСТУП

У контексті цифрової трансформації транспортної галузі, особливої актуальності набуває впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС), які забезпечують підвищення ефективності, безпеки та екологічної стійкості перевезень. ІТС інтегрують сучасні інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), рішення Інтернету речей (ІоТ), мобільний зв'язок п'ятого покоління (5G), штучний інтелект (AI), а також стандартизовані протоколи взаємодії для забезпечення ефективного функціонування транспортної інфраструктури.

Європейський досвід упровадження ІТС демонструє важливість нормативного регулювання та гармонізації стандартів. Зокрема, директива 2010/40/ЄС визначає правові рамки для розвитку ІТС у Європейському Союзі, а стандарт ISO 21217:2020 «Intelligent transport systems — Communications access for land mobiles (CALM) — Architecture» визначає базову архітектуру ІТС-станцій, які є ключовими елементами у побудові інфраструктури V2X-комунікацій. Стандартизована комунікаційна архітектура забезпечує інтероперабельність, безпеку та масштабованість рішень, сприяючи розвитку єдиної цифрової транспортної екосистеми.

Метою даної дипломної роботи є аналіз сучасного стану, принципів функціонування та ефективності використання інтелектуальних транспортних систем із фокусом на застосування стандарту ISO 21217, а також дослідження перспектив впровадження ІТС в Україні в контексті цифрової інфраструктури та євроінтеграції.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

- дослідити історію, структуру та нормативну базу впровадження ІТС у країнах ЄС;
- проаналізувати принципи архітектури ISO 21217 та його взаємодію з іншими стандартами (ISO 21218, ISO 24102 тощо);

- охарактеризувати ключові компоненти ІТС: ADAS, V2X-комунікації, електронні платформи, точки доступу;
- розробити сценарії впровадження та симуляційні моделі функціонування ІТС;
- оцінити ефективність систем на основі стандартних показників (затримка, безпека, доступність) із використанням методик, таких як SWOT-аналіз;
- надати рекомендації щодо адаптації ІТС в Україні відповідно до міжнародних стандартів і директив.

Об'єктом дослідження є інтелектуальні транспортні системи, як комплексна сукупність технологічних, організаційних та інформаційних засобів. Предметом дослідження виступають архітектурні рішення, нормативні стандарти та методи оцінки ефективності ІТС у контексті сучасної цифрової інфраструктури.

Актуальність теми зумовлена глобальними тенденціями цифровізації транспортної галузі, зростанням попиту на безпечні та екологічно сталі перевезення, а також необхідністю інтеграції України у загальноєвропейську транспортну інформаційну інфраструктуру. Дослідження ІТС та стандарту ISO 21217 є важливим кроком до створення ефективної, стандартизованої та стійкої транспортної системи майбутнього.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ (ІТС)

1.1 Загальні поняття та історія розвитку ІТС

1.1.1 Визначення інтелектуальних транспортних систем

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС, англ. *Intelligent Transport Systems, ITS*) — це комплекс сучасних технологій, рішень та інфраструктур, що використовуються для підвищення ефективності, безпеки, мобільності та екологічної стійкості транспортних систем.

ІТС поєднують інформаційно-комунікаційні технології (ІКТ), автоматизовані системи керування дорожнім рухом, системи збору, обробки та обміну даними, а також пристрої зв'язку (у тому числі IoT-рішення) для забезпечення інтерактивної взаємодії між усіма учасниками дорожнього руху — транспортними засобами, інфраструктурою, операторами систем, пішоходами та органами управління.

Ключові характеристики ІТС:

- інтеграція апаратного та програмного забезпечення;
- збір та обробка інформації в реальному часі;
- можливість автоматичного прийняття рішень або підтримки рішень оператора;
- обмін даними між транспортними засобами (V2V), між транспортними засобами та інфраструктурою (V2I), пішоходами (V2P) тощо;
- підвищення безпеки дорожнього руху, зменшення заторів, зниження викидів CO₂.

Типові приклади ІТС:

- інтелектуальне управління світлофорами;
- адаптивні системи навігації;
- системи збору дорожніх податків (ETC);
- автоматизоване виявлення порушень ПДР;

- транспортні платформи для пасажирів (наприклад, мобільні додатки з відстеженням маршрутів громадського транспорту).

1.1.2 Історичний огляд розвитку ІТС у світі

Ідея інтеграції технологій в управління транспортом виникла ще у другій половині XX століття, коли зростання кількості автомобілів та ускладнення транспортних потоків вимагали нових підходів до регулювання дорожнього руху. Початково це проявлялося в автоматизації окремих процесів, таких як управління світлофорами або облік трафіку, проте з часом розвинулося до комплексних рішень, які сьогодні об'єднуються під терміном "інтелектуальні транспортні системи".

1960–1980-ті роки: зародження ідеї ІТС

- В 1960–1970-х роках у США, Японії та Європі почали з'являтися перші системи автоматизованого керування світлофорами, основи телематичних рішень, а також системи відеонагляду за трафіком.
- У 1974 році в Токіо було запроваджено одну з перших автоматизованих систем керування дорожнім рухом (UTCS).
- У 1970–1980-х роках активно розвивався концепт «систем допомоги водієві», зокрема адаптивний круїз-контроль і виявлення перешкод.

1990-ті: формування концепції ІТС

- У 1991 році в США було започатковано програму *Intelligent Vehicle Highway Systems (IVHS)*, яка згодом переросла в *Intelligent Transportation Systems (ITS)*.
- У 1994 році в ЄС була заснована платформа ERTICO (European Road Transport Telematics Implementation Coordination Organisation), яка координувала впровадження ІТС у європейських країнах.
- У 1995 році в Японії стартувала масштабна державна програма VICS (Vehicle Information and Communication System), яка стала прикладом

ранньої реалізації інформаційної взаємодії транспортних засобів з інфраструктурою.

2000-ті: активне впровадження та глобальна стандартизація

- Починається впровадження систем GPS-навігації в цивільні транспортні засоби.
- Розвиток технологій мобільного зв'язку (3G/4G) дозволив запровадити хмарні платформи для обробки трафіку в реальному часі.
- Формується міжнародна нормативна база: перші версії стандартів ISO, ETSI, IEEE, зокрема ISO TC204 — технічний комітет для ІТС.

2010-ті: інтеграція IoT, V2X та кібербезпеки

- Широке впровадження IoT-пристроїв у транспорті дало поштовх до розвитку V2X-комунікацій (vehicle-to-everything).
- Прийнята Директива 2010/40/ЄС, яка заклала законодавчу основу для розвитку ІТС у країнах Європейського Союзу.
- З'являються системи попередження зіткнень, автономного паркування та перші елементи автоматичного керування.
- У 2015 році вперше було випробувано повністю автономні транспортні засоби на громадських дорогах.

2020–2025: сучасний етап

- Приймаються оновлені стандарти ISO (зокрема ISO 21217:2020, ISO 21218, ISO 24102), які визначають комунікаційну архітектуру ІТС.
- Розвиток 5G-комунікацій відкриває нові можливості для реального впровадження V2V, V2I, V2P, V2N.
- У ЄС активно впроваджуються національні точки доступу до транспортних даних.
- Пілотні зони з автономним транспортом з'являються у містах Європи, США, Японії, Південної Кореї та Китаю.

1.1.3 Інтелектуальні транспортні системи як елемент Інтернету речей (IoT)

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) є однією з ключових сфер застосування технологій Інтернету речей (IoT), який забезпечує об'єднання фізичних об'єктів (транспортних засобів, інфраструктурних елементів, пристроїв керування) в єдину мережу для обміну даними в режимі реального часу.

IoT у контексті ІТС дозволяє здійснювати безперервний моніторинг, аналіз і управління транспортними потоками, технічним станом транспорту, дорожньою інфраструктурою, а також взаємодією між учасниками дорожнього руху. Саме завдяки IoT технологіям ІТС трансформуються з ізольованих систем у гнучкі, адаптивні й самонавчальні екосистеми.

1. Ключові характеристики ІТС як IoT-системи:

- Підключення до мережі: транспортні засоби, світлофори, дорожні сенсори, парковки та інші елементи підключаються до інтернету через мобільний зв'язок, Wi-Fi, LTE, 5G, NB-IoT.
- Збір даних: численні сенсори реєструють параметри руху, стан дорожнього покриття, погодні умови, концентрацію транспорту тощо.
- Обробка та аналіз: дані обробляються в реальному часі на рівні хмарних платформ, серверів або безпосередньо на пристроях (edge computing).
- Автоматичне прийняття рішень: системи приймають оперативні рішення (напр. зміна режиму світлофора, попередження про небезпеку, автоматичне гальмування).
- Комунікація V2X (Vehicle-to-Everything): IoT забезпечує обмін даними у форматах V2V (між автомобілями), V2I (з інфраструктурою), V2P (з пішоходами), V2N (з мережею).

2. Приклади використання IoT в ІТС:

- "Розумні" світлофори, що змінюють сигнали відповідно до трафіку;

- Системи безпечного водіння, які аналізують дорожню ситуацію та попереджають водія;
- Автоматичне розпізнавання номерних знаків і облік проїзду;
- Контроль транспорту в режимі реального часу (наприклад, GPS-моніторинг маршруток);
- Датчики на мостах та дорогах, які попереджають про зношення або ризики.

3. Переваги інтеграції ІТС в IoT-середовище:

- Підвищення безпеки дорожнього руху;
- Зменшення заторів та часу в дорозі;
- Оптимізація використання пального;
- Мінімізація аварійних ситуацій завдяки ранньому попередженню;
- Підтримка концепції «розумного міста» (*Smart City*).

Таким чином, ІТС у поєднанні з IoT стають основою для побудови сучасної, адаптивної, екологічної та ефективної транспортної системи. Це дозволяє створювати дійсно «розумні» дороги, міста і регіони, де всі компоненти транспортної інфраструктури працюють злагоджено, завдяки високому рівню взаємозв'язку та автоматизації.

1.2 Європейська нормативно-правова база у сфері ІТС

1.2.1 Директива 2010/40/ЄС: цілі, структура та вплив

Директива 2010/40/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 7 липня 2010 року встановлює правові рамки для координації розгортання інтелектуальних транспортних систем (ІТС) у сфері автомобільного транспорту та для забезпечення взаємодії з іншими видами транспорту. Її мета — стимулювати ефективне, безпечне та стає впровадження ІТС у державах-членах ЄС.

Цілі Директиви 2010/40/ЄС:

- Покращення безпеки дорожнього руху — за допомогою систем попередження про аварійні ситуації, погодні умови тощо.
- Підвищення ефективності транспорту — оптимізація маршрутів, зменшення заторів і витрат пального.
- Зменшення негативного впливу на довкілля — за рахунок скорочення викидів CO₂ та споживання енергії.
- Інтеграція транспортних систем — забезпечення сумісності ІТС у всьому ЄС.
- Покращення доступу до даних — запровадження національних точок доступу для обміну транспортною інформацією.

Структура Директиви:

Документ містить 12 статей і Додаток, який визначає пріоритетні сфери дій у сфері ІТС. Основні напрямки:

- Пріоритетна сфера I – оптимальне використання дорожньої, інформаційної та транспортної інфраструктури;
- Пріоритетна сфера II – безпека дорожнього руху та захист користувачів;
- Пріоритетна сфера III – забезпечення безперешкодності руху та вантажних перевезень;
- Пріоритетна сфера IV – взаємозв'язок транспортних засобів з інфраструктурою.

Крім того, Європейська Комісія отримує повноваження ухвалювати делеговані акти (Delegated Acts), які встановлюють технічні та експлуатаційні специфікації для конкретних ІТС-послуг.

Вплив Директиви на розвиток ІТС в Європі:

- Гармонізація рішень ІТС: країни ЄС мають спільні технічні вимоги, що забезпечує сумісність систем і сервісів.
- Запровадження національних точок доступу (NAP): держави зобов'язані створювати централізовані платформи для обміну транспортними даними (наприклад, дані про трафік, паркування, аварії).

- Поштовх до інновацій: директива сприяла розвитку стандартів для V2X-комунікацій, мобільних застосунків, мультимодальних транспортних платформ.
- Підтримка сталого транспорту: завдяки ІТС знижується час у дорозі, витрати пального та навантаження на міську інфраструктуру.
- Юридична ясність: директива визначає обов'язки держав-членів та Європейської Комісії, створюючи стабільне правове середовище для інвестицій у ІТС.

Узагальнення:

Директива 2010/40/ЄС є ключовим нормативним актом, що започаткував системний підхід до впровадження інтелектуальних транспортних систем у Європі. Вона не лише задала вектор розвитку ІТС, але й визначила конкретні технічні, правові та організаційні рамки, що забезпечують єдині підходи до розгортання «розумного» транспорту в усіх країнах-членах ЄС.

1.2.2 Зміни до Директиви у 2010–2025 роках

Після набуття чинності у 2010 році, Директива 2010/40/ЄС неодноразово уточнювалася та доповнювалася, зокрема через ухвалення делегованих актів Європейської Комісії, які конкретизували технічні та функціональні вимоги до розгортання інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Протягом 2010–2025 років розвиток цифрових технологій, зростання обсягів даних, а також поява V2X-комунікацій та автоматизованих транспортних засобів стали підставою для перегляду нормативної бази.

Особливої актуальності зміни набули у зв'язку з активним розвитком цифрової мобільності, V2X-комунікацій (Vehicle-to-Everything), а також інтенсивною інтеграцією автоматизованих та автономних транспортних засобів у дорожню інфраструктуру. У результаті виникла необхідність оновлення нормативної бази з метою уніфікації стандартів передачі даних,

забезпечення кібербезпеки, захисту персональних даних, інтероперабельності рішень та інтеграції з 5G-інфраструктурою.

Таблиця 1.2 – Зміни директив

Рік	Подія / Зміна
2010	Прийняття Директиви 2010/40/ЄС – основа для розвитку ІТС у ЄС
2013–2018	Ухвалення делегованих актів: – інформація про трафік у реальному часі – безпечні паркінги для вантажівок – мультимодальні подорожі
2019–2021	Оцінка реалізації директиви, консультації з державами ЄС і виробниками
2022–2023	Підготовка оновлення: «ITS Directive 2.0» — пропозиції Єврокомісії щодо розширення сфери
2024	Офіційне ухвалення оновленої директиви: – автоматизація – відкриті дані (NAP 2.0) – кібербезпека
2025	Початок імплементації нової редакції в країнах-членах ЄС

У 2022 році Європейська Комісія представила пропозицію щодо перегляду Директиви 2010/40/ЄС, яка передбачає:

- перехід до обов’язкового обміну даними між транспортними операторами, державними установами та цифровими платформами;
- запровадження загальноєвропейських технічних специфікацій для кооперативних ІТС (C-ITS);
- підтримку безшовної взаємодії між різними видами транспорту у контексті «розумної мобільності»;
- сприяння розвитку інфраструктури, орієнтованої на автономні транспортні засоби.

Планується, що переглянута директива матиме статус регламенту, що забезпечить пряме застосування її положень у країнах-членах ЄС без потреби в національній імплементації. Це, у свою чергу, створить уніфіковане правове поле для розбудови ІТС, сприятиме прискоренню інновацій у сфері транспортної цифровізації та забезпечить більш високий рівень безпеки, ефективності та сталого розвитку транспортної системи.

Таким чином, період з 2010 по 2025 роки ознаменувався переходом від декларативного рамкового підходу до конкретизованої, технічно структурованої політики щодо впровадження ІТС на рівні Європейського Союзу, що стало відповіддю на виклики цифрової трансформації транспортної галузі.

1.2.3 Поняття національної точки доступу в ІТС ЄС

Однією з ключових складових архітектури інтелектуальних транспортних систем (ІТС) у країнах Європейського Союзу є національна точка доступу (NAP — National Access Point). Це спеціалізована цифрова інфраструктура, яка забезпечує централізований, стандартизований та регламентований доступ до транспортної інформації, необхідної для надання та інтеграції ІТС-послуг на локальному, національному та трансєвропейському рівнях.

Призначення та нормативно-правова база

Національні точки доступу запроваджені в межах імплементації Директиви 2010/40/ЄС та відповідних делегованих актів Європейської Комісії, зокрема:

- Регламент (ЄС) № 2017/1926 — щодо надання мультимодальної транспортної інформації (MMTIS);
- Регламент (ЄС) № 2015/962 — щодо служб інформації про дорожній рух у реальному часі (RTTI);
- Регламент (ЄС) № 886/2013 — щодо безпекових повідомлень на дорогах.

Метою створення NAP є:

- забезпечення інтероперабельності ІТС-рішень у масштабах ЄС;
- агрегація та стандартизація транспортних даних, що надходять від державних і приватних джерел;
- гармонізація форматів обміну інформацією, згідно з технічними специфікаціями ЄС;
- надання рівного доступу до актуальних транспортних даних для всіх учасників ринку, включаючи провайдерів послуг, розробників додатків, органів влади, операторів транспортної інфраструктури.

Класифікація даних у NAP

Національні точки доступу слугують платформою для публікації, агрегації та обміну транспортною інформацією, що охоплює:

- Статичні дані:
 - Геопросторові характеристики дорожньої інфраструктури (смуги руху, перехрестя, світлофори);
 - Інформація про дорожні знаки, обмеження швидкості, зони для паркування;
 - Дані про громадський транспорт (зупинки, маршрути, розклад).
- Динамічні дані:
 - Поточні дані про трафік: затори, аварії, закриття доріг, ремонти;
 - Прогнозовані умови руху та завантаження дорожньої мережі;
 - Оновлення в режимі реального часу від сенсорів, камер, систем V2X.
- Сервісна інформація:
 - Наявність зарядних станцій, інформація про громадський транспорт, доступність послуг;
 - Дані про тарифи, інтервали, платформи MaaS (Mobility as a Service).
- Безпекова інформація:

- Повідомлення про погодні умови, ожеледь, серпанки, обмеження швидкості;
- Оповіщення про небезпеки, такі як небезпечні вантажі або аварії.

Стандарти обміну та доступу

NAP використовують уніфіковані відкриті стандарти для обміну транспортними даними:

- DATEX II — стандарт для обміну інформацією про дорожню ситуацію;
- NeTEx (Network Timetable Exchange) — модель даних для представлення структури транспортної мережі;
- SIRI (Service Interface for Real-time Information) — протокол для обміну інформацією про реальний стан громадського транспорту;
- GTFS (General Transit Feed Specification) — формат Google для публікації даних про громадський транспорт.

Залежно від політики держави-члена, доступ до NAP може бути відкритим, частково відкритим або ліцензованим, з можливістю завантаження, інтеграції через API або отримання доступу через захищені шлюзи.

Технічна та інституційна реалізація

Кожна країна-член ЄС реалізує власну NAP-платформу, яка відповідає загальним європейським вимогам, але адаптована до локального контексту:

- Німеччина: Mobilithek — багатофункціональна платформа з доступом до державних та комерційних транспортних даних;
- Франція: Transport.data.gouv.fr — відкритий державний портал, що агрегує дані про транспорт, паркування, безпеку;
- Нідерланди: NDW (Nationaal Dataportaal Wegverkeer) — національний портал дорожнього руху з реальним часом;
- Фінляндія: Digitraffic — NAP-платформа з акцентом на відкритий доступ і підтримку MaaS.

Роль NAP у цифровій трансформації транспорту

Функціонування національних точок доступу забезпечує системну уніфікацію транспортних даних, що є базовою умовою для:

- реалізації кооперативних ІТС (C-ITS);
- розробки автоматизованих транспортних систем і безпілотних автомобілів;
- впровадження інноваційних цифрових сервісів: персоналізованих маршрутів, екологічних навігаційних підказок, мобільних застосунків;
- моніторингу ефективності транспорту в режимі реального часу;
- підтримки прозорої транспортної політики, доступної як для бізнесу, так і для громадян.

Отже національна точка доступу (NAP) — це стратегічно важлива інституція цифрової мобільності, яка виступає мостом між державою, інфраструктурою, транспортними операторами та користувачами. Вона забезпечує єдиний цифровий простір для обміну даними, сприяє розвитку інновацій та забезпеченню сталого функціонування ІТС. Надалі роль NAP лише зростатиме в умовах інтеграції 5G, розвитку штучного інтелекту в транспорті та переходу до повністю цифрової транспортної екосистеми ЄС.

1.3 Класифікація та приклади застосування ІТС

1.3.1 Системи підтримки водія (ADAS), управління рухом, електронні платформи

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) охоплюють різноманітні технології, що сприяють підвищенню безпеки, ефективності та екологічності транспорту. Серед ключових компонентів сучасних ІТС вирізняють:

1. Системи підтримки водія (ADAS — Advanced Driver Assistance Systems)

ADAS — це вбудовані у транспортні засоби системи, що допомагають водієві під час керування, зменшують ризики ДТП і створюють передумови для автономного водіння.

Типові функції ADAS:

- Автоматичне екстрене гальмування (AEB)

- Адаптивний круїз-контроль
- Система утримання в смузї руху
- Виявлення пішоходів та велосипедистів
- Система розпізнавання дорожніх знаків
- Круговий огляд (360° камери)

Зв'язок з IoT: Сучасні ADAS активно обмінюються даними з іншими автомобілями (V2V), інфраструктурою (V2I) і хмарними сервісами.

2. Системи управління дорожнім рухом

Ці системи дозволяють оперативно регулювати дорожню ситуацію, запобігати заторам і забезпечувати пріоритетний проїзд спецтранспорту.

Основні елементи:

- Інтелектуальні світлофори (адаптивне регулювання світлофорів)
- Центри управління дорожнім рухом (ТМС)
- Системи виявлення заторів, аварій і порушень
- Електронні дорожні знаки та табло з змінною інформацією (VMS)

Такі системи зазвичай інтегруються з метеостанціями, відеоаналітикою, сенсорами руху та системами моніторингу трафіку.

3. Електронні платформи та сервіси

Це цифрові сервіси, які об'єднують різні джерела транспортної інформації і надають її користувачам або іншим системам через інтерфейси API.

Приклади:

- Мобільні додатки для планування подорожей (наприклад, Google Maps, Moovit)
- Платформи Mobility as a Service (MaaS) — інтегрують громадський, приватний, спільний транспорт
- Національні точки доступу (NAP) — публікують стандартизовані транспортні дані
- Хмарні сервіси для аналізу транспортних потоків, прогнозування трафіку, керування маршрутами

Значення для ІТС

Комбінація ADAS(рис 1.1), систем керування рухом і електронних платформ забезпечує:

- зменшення аварійності;
- ефективне використання дорожньої інфраструктури;
- екологічність транспорту;
- розвиток автоматизованого і автономного транспорту.

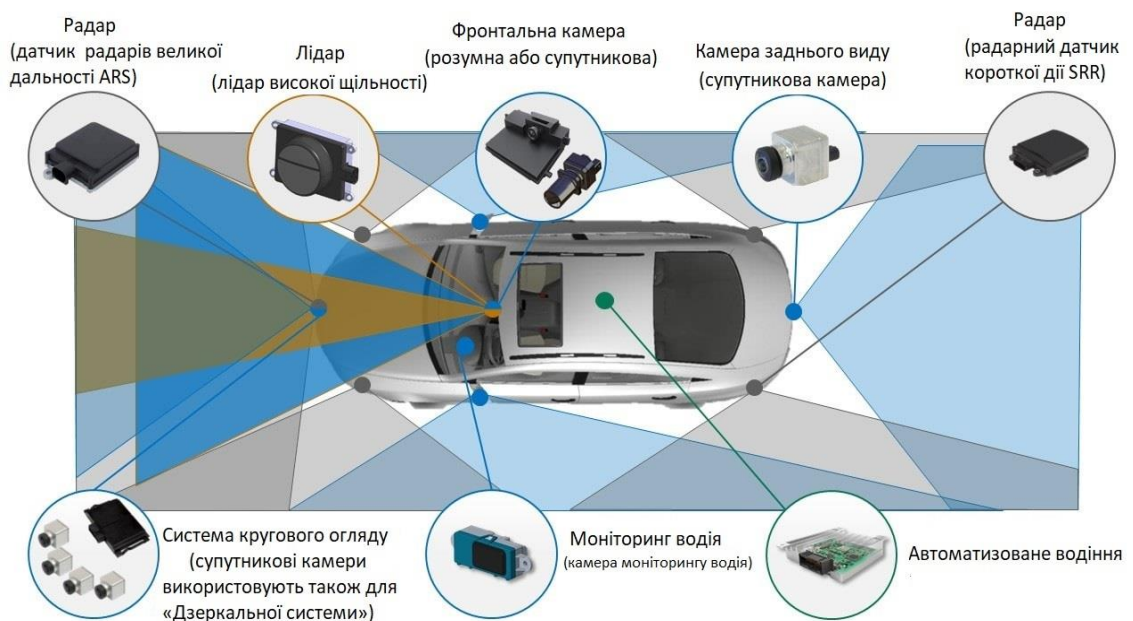


Рисунок.1.1 – Комбінація ADAS

1.3.2 ІТС для взаємодії між видами транспорту

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) відіграють ключову роль у забезпеченні ефективної взаємодії між різними видами транспорту — автомобільним, залізничним, морським, авіаційним та міським пасажирським транспортом. Така інтеграція сприяє створенню єдиного транспортного простору, де інформаційний обмін між системами забезпечує:

- Оптимізацію логістичних процесів (наприклад, автоматизоване керування ланцюгами постачання в морських портах із залізничним і автомобільним транспортом);
- Зменшення затримок при перевантаженні пасажирів і вантажів;
- Підвищення безпеки завдяки синхронізації сигналів, дорожніх умов та технічного стану транспорту;
- Підтримку мультимодальних подорожей для пасажирів: зручне планування маршруту з урахуванням пересадок між видами транспорту.

У Європейському Союзі інтеграція ІТС реалізується завдяки національним точкам доступу та спільним стандартам обміну даними (наприклад, через DATEX II), що дозволяє транспортним організаціям обмінюватися інформацією у режимі реального часу (Рис 1.2).

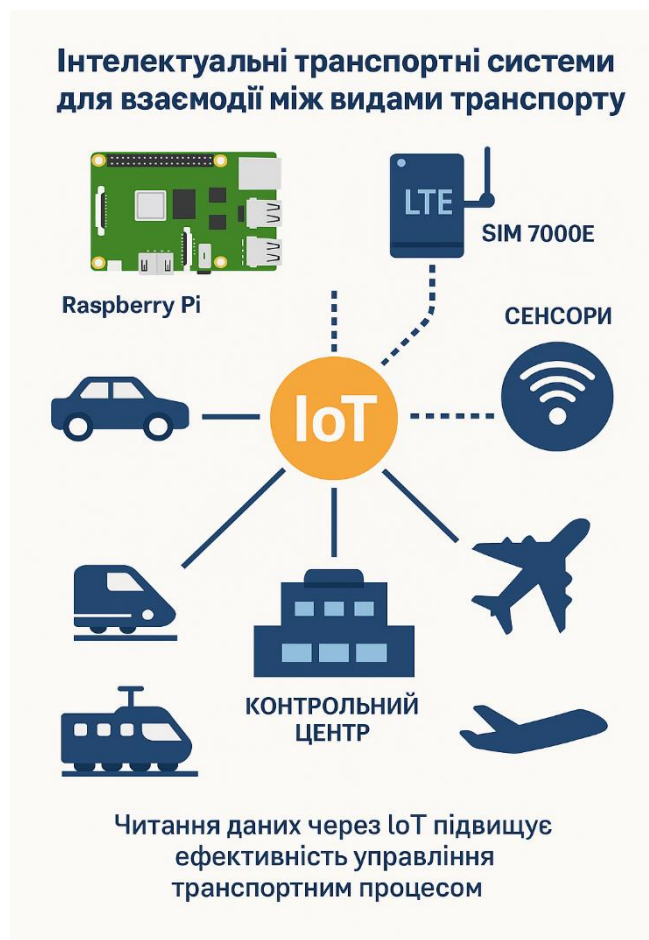


Рисунок 1.2 – Взаємодія ІТС з транспортом

1.3.3 Вплив ІТС на безпеку, мобільність і сталий розвиток

1. Підвищення безпеки дорожнього руху

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) використовують датчики, камери, радары та комунікаційні протоколи для запобігання аваріям. Системи підтримки водія (ADAS), автоматичне гальмування, попередження про зіткнення та контроль сліпих зон — усе це сприяє зменшенню кількості ДТП.

2. Поліпшення мобільності

ІТС оптимізують транспортні потоки через адаптивне регулювання світлофорів, аналіз заторів у реальному часі, навігаційні підказки, що враховують трафік. Це скорочує час у дорозі, знижує навантаження на інфраструктуру та покращує досвід користувачів.

3. Сприяння сталому розвитку

Завдяки більш ефективному використанню транспорту зменшуються викиди CO₂, витрати палива та споживання енергії. ІТС також сприяють інтеграції громадського транспорту та розвитку електромобільності. Це відповідає цілям ЄС щодо екологічного транспорту та зменшення вуглецевого сліду.

2 СТАНДАРТИЗАЦІЯ ІТС ТА АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ISO

2.1 Міжнародні стандарти у сфері інтелектуальних транспортних систем

2.1.1 Огляд основних стандартів ISO, ETSI, IEEE

ISO

- ISO 21217:2014 (CALM Architecture) – міжнародний стандарт, що описує загальну архітектуру зв'язку для «станції ІТС» (ITS station) і способи взаємодії її компонентів у складі інтелектуальної транспортної системи. Він визначає елементи ITS-станції, її зв'язок з різними мережами (V2V, V2I, V2N тощо) та мінімальні нормативні вимоги до реалізації стека протоколів ІТС.
- ISO 21218:2018 (CALM – Access Technology Support) – доповнює ISO 21217 технічними деталями доступу для різних технологій зв'язку у станції ІТС. Він визначає два набори сервісних точок доступу (SAP): IN-SAP для адаптації прикладових даних у середній шар зв'язку та MI-SAP для управління інтерфейсами зв'язку. У стандарті вказано формати примітивів для обміну даними й команд між шарами, що забезпечує прозору роботу різних радіоінтерфейсів (Wi-Fi G5, LTE-V2X тощо).
- ISO 17515-3:2019 (ITS – LTE-V2X) – специфікація доступу ITS-станції через інтерфейс “ITS-LTE-V2X”, що базується на технології LTE-V2X (стандарті 3GPP). Стандарт дозволяє використовувати LTE-V2X як повноцінний канал зв'язку ІТС, задаючи деталі адаптації у рамках існуючої архітектури CALM.
- ISO/TS 19091:2019 (Cooperative ITS – V2I для світлофорних перехресть) – технічна специфікація, що описує використання V2I/V2V зв'язку для управління дорожньо-транспортними процесами на регульованих перехрестях. Документ визначає повідомлення (SPaT, MAP, SSM, SRM), структури та елементи даних, необхідні для взаємообміну між дорожнім обладнанням і транспортними засобами з метою підвищення безпеки, пропускної здатності та екологічної ефективності.

- ISO 23376:2021 (V2V Intersection Collision Warning) – стандарт для систем попередження про можливу лобову чи бокову зіткнення на перетині доріг на основі прямого V2V-зв'язку. Він задає вимоги до продуктивності й алгоритмів таких систем, які оцінюють дані обміну (положення, швидкість, курс) між автомобілями та виводять попередження водію.

ETSI

- ETSI EN 302 663 V1.3.1 (2019) – ITS-G5 Access Layer – визначає фізичний рівень (PHY) та рівень доступу до середовища (MAC) для режиму ITS-G5 у діапазоні 5,855–5,925 ГГц. Базується на IEEE 802.11p, але включає європейські специфікації та механізми запобігання колізіям.
- ETSI EN 302 665 V1.1.1 (2010) – Communications Architecture – описує загальну архітектуру зв'язку ІТС, підсистеми (автомобільна, дорожня, персональна), типи станцій і канали між ними.
- ETSI TS 102 637-2 V1.4.1 (2019) – Cooperative Awareness Basic Service (CAM) – визначає структуру Cooperative Awareness Message, яка регулярно передається транспортними засобами для взаємного інформування про своє місцезнаходження, напрямок руху, габарити тощо.
- ETSI EN 302 637-3 V1.3.1 (2019) – Decentralized Environmental Notification Basic Service (DENM) – задає структуру сповіщень про надзвичайні ситуації, які виникають на дорозі (наприклад, аварії, слизька дорога, несправність авто тощо)
- ETSI EN 302 571 V2.1.1 (2017) – 5.9 GHz Harmonised Standard – технічні вимоги до радіообладнання ITS, які гарантують його сумісність і відповідність європейським регуляторним нормам.

- ETSI TS 102 792 V1.2.1 (2015) – CEN DSRC/ITS-G5 Coexistence – описує способи уникнення перешкод між технологіями ITS-G5 та DSRC, які працюють у суміжних діапазонах.

IEEE

- IEEE 802.11p-2010 (WAVE) – стандарт для прямого бездротового зв'язку між автомобілями та між автомобілями й інфраструктурою у діапазоні 5.9 ГГц. Є основою для систем DSRC (США) та ITS-G5 (Європа).
- IEEE 802.11bd-2022 (Next Generation V2X) – оновлення до 802.11p із зворотною сумісністю, розширеним спектром та вищою швидкістю передачі для сучасних застосувань на кшталт автопілоту.
- IEEE 1609.x (WAVE stack) – сімейство стандартів, що включає протоколи керування доступом, мультиканального режиму, безпеки та сертифікації в системах WAVE.

Отже, ISO задає загальну архітектуру та принципи, ETSI зосереджується на регламентуванні зв'язку та повідомлень у ЄС, а IEEE — на технології бездротової передачі даних. Усі три групи стандартів взаємодіють між собою й доповнюють одна одну. Короткий опис кожного наведено в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Взаємодія стандартів між собою

Критерій	ISO	ETSI	IEEE
Географічний фокус	Глобальний	Європа	США, глобальний
Рівень стандартизації	Визначає архітектуру, сервіси, інтерфейси	Регламентує протоколи, частоти, формати повідомлень	Фізичний та MAC-рівень зв'язку
Прикладні стандарти	CALM (21217, 21218), LTE-V2X (17515), V2V safety (23376)	ITS-G5 (802.11p-based), CAM, DENM, профілі застосування	WAVE (802.11p), 802.11bd, 1609.x stack
Призначення	Узагальнена модель ІТС, що підтримує різні мережі та пристрої	Практична реалізація ІТС в ЄС – обмін повідомленням и між ТЗ та ІТС	Базова бездротова технологія для прямої комунікації
Рівень деталізації	Високорівнева архітектура та концепції	Середній – описує структуру повідомлень, частоти, протоколи	Низькорівневі технічні деталі для бездротового зв'язку
Сумісність між стандартами	Інтегрує IEEE/ETSI технології як частину CALM-архітектури	Взаємодіє з IEEE 802.11p (як основа ITS-G5), підтримує ISO архітектури	Стандарти можуть використовуватись в ISO/ETSI-сумісних рішеннях
Сфера застосування	Автомобілі, інфраструктура, пішоходи, диспетчери	Транспортні системи в ЄС	Транспортні системи, переважно в США, але з глобальним використанням

2.1.2 Значення стандартизації для сумісності ІТС

Стандартизація є ключовим чинником для забезпечення інтероперабельності (сумісності) різних компонентів інтелектуальних транспортних систем (ІТС). У середовищі, де взаємодіють транспортні засоби, дорожня інфраструктура, диспетчерські системи та мобільні пристрої, єдина мова обміну даними є критично важливою.

Завдяки міжнародним стандартам:

- Різні виробники можуть розробляти обладнання та програмне забезпечення, яке безперешкодно взаємодіє з іншими системами.
- Забезпечується єдина структура даних та протоколи обміну (наприклад, CAM, DENM в ETSI або 802.11p в IEEE).
- Стандарти дозволяють досягти масштабованості — від локального рішення до загальнонаціональних або транснаціональних систем.
- Національні точки доступу та міжнародні платформи можуть обмінюватися інформацією в реальному часі.

Таким чином, стандартизація забезпечує безпечну, ефективну та синхронізовану роботу ІТС у глобальному масштабі, що особливо важливо для майбутнього автоматизованого транспорту та стійкої мобільності.

2.2 Стандарт ISO 21217:2020 – Архітектура стаціонарного мережевого вузла

2.2.1 Основні принципи та структура стандарту

Стандарт ISO 21217:2020 "Intelligent transport systems — Station and communication architecture" визначає референтну архітектуру стаціонарної або мобільної ITS-станції, що є базовим елементом у системах кооперативного інтелектуального транспорту. Цей стандарт встановлює узгоджену модель для побудови ІТС-рішень, яка охоплює різні комунікаційні технології, програмне забезпечення, функціональні блоки та процедури безпеки. Його ключова мета

— уніфікація технологічних підходів до передачі, обробки та використання даних у транспортному середовищі, з забезпеченням взаємодії між різними ІТС-компонентами незалежно від виробника, країни або сфери застосування.

Основні принципи стандарту ISO 21217:2020

1. Модульність (Modularity):

Архітектура базується на чітко визначених модулях (функціональних підсистем), які можна окремо розробляти, оновлювати або інтегрувати. Це спрощує адаптацію до нових технологій і полегшує модернізацію систем без повної перебудови інфраструктури.

2. Інтероперабельність (Interoperability):

Забезпечується технічна та логічна сумісність між компонентами ІТС, включаючи комунікаційні засоби, програмні інтерфейси та протоколи обміну. Цей принцип є ключовим для трансєвропейської інтеграції транспортних систем.

3. Підтримка мультикомунікаційності (Multi-Access Communication):

ІТС-станція підтримує одночасну роботу з кількома комунікаційними інтерфейсами, зокрема DSRC (IEEE 802.11p), LTE, 5G, Wi-Fi, Ethernet тощо. Це дозволяє ефективно адаптуватися до умов середовища і забезпечувати стабільний обмін даними.

4. Безпека та конфіденційність (Security & Privacy by Design):

У стандарті передбачено інтегровану систему безпеки, яка охоплює механізми автентифікації, криптографічного захисту, контролю доступу, управління сертифікатами та захисту персональних даних згідно з вимогами законодавства ЄС (зокрема GDPR).

5. Гнучкість і масштабованість (Scalability & Flexibility):

ІТС-станції можуть бути легко масштабовані — від окремих транспортних засобів і пристроїв до регіональних і національних систем, що дозволяє інтегрувати нові сервіси без зміни базової архітектури.

Функціональна структура ISO 21217:2020

Стандарт описує п'ятирівневу модель архітектури ITS-станції, що відповідає принципам ISO/OSI:

1. Communication Access Layer (Рівень доступу до середовища)

Забезпечує взаємодію з фізичними мережами передачі даних: DSRC, LTE, 5G, Wi-Fi, Ethernet, Bluetooth тощо. Він також включає механізми управління радіочастотним спектром і переходом між технологіями.

2. Networking & Transport Layer (Мережевий і транспортний рівень)

Реалізує маршрутизацію, адресацію, транспортування даних та контроль доставки. Підтримуються протоколи IPv6, GeoNetworking, TCP/UDP, а також обробка групових або широкомовних повідомлень у контексті V2X-комунікацій.

3. Facilities Layer (Сервісний рівень)

Відповідає за обробку повідомлень, управління інформаційними потоками, агрегацію даних, синхронізацію сервісів та формування повідомлень для додатків (наприклад, DENM, CAM згідно ETSI ITS-G5). Також тут відбувається взаємодія з локальними або хмарними базами даних.

4. Applications Layer (Рівень додатків)

Реалізує ІТС-сервіси, наприклад:

- аварійне гальмування (Emergency Braking),
- адаптивне управління світлофорами (Traffic Light Control),
- кооперативне управління швидкістю,
- повідомлення про дорожні події або ризики.

Цей рівень взаємодіє з кінцевим користувачем або бортовою системою транспортного засобу.

5. Management & Security Planes (Площини управління та безпеки)

Ці площини мають горизонтальний характер і забезпечують:

- управління конфігурацією та оновленням програмного забезпечення;
- контроль доступу до ресурсів;

- валідацію даних і сертифікатів;
- виявлення порушень політик безпеки.

Практичне значення стандарту ISO 21217:2020

Використання архітектури ISO 21217:2020 дає змогу:

- Створювати уніфіковані ІТС-рішення для транспорту, незалежно від регіону чи постачальника;
- Підвищити якість сервісів, зменшити затори та покращити безпеку на дорогах;
- Інтегрувати різні транспортні підсистеми в єдину екосистему мобільності (розумні міста, МaaS);
- Забезпечити міжнародну сумісність у рамках C-ITS та V2X-середовищ.

2.2.2 Компоненти комунікаційної архітектури

Комунікаційна архітектура ІТС згідно зі стандартом ISO 21217:2020 має чітко визначені компоненти, які забезпечують ефективний, безпечний і надійний обмін даними між усіма учасниками транспортної системи. До ключових складових належать:

1. Управління доступом до середовища передачі (Access Management):

- Визначає, як саме пристрій (наприклад, транспортний засіб) підключається до фізичного каналу передачі даних (радіоканал, мобільна мережа тощо).
- Підтримує кілька технологій доступу, включаючи 802.11p (ITS-G5), LTE, 5G, супутниковий зв'язок.
- Забезпечує адаптивний вибір каналу на основі умов навколишнього середовища та навантаження мережі.

2. Маршрутизація та транспортування (Networking & Transport Layer):

- Відповідає за адресацію, маршрутизацію та доставку пакетів даних до інших ІТС-станцій.

- Підтримує універсальні транспортні протоколи, сумісні з IP та не-IP мережами.
- Забезпечує гарантії якості обслуговування (QoS) для критично важливих сервісів, таких як системи безпеки.

3. Безпека (Security Plane):

- Реалізує криптографічний захист даних, включаючи шифрування, підпис повідомлень та аутентифікацію учасників обміну.
- Забезпечує керування сертифікатами, захист від підробки повідомлень, виявлення аномалій у мережевому трафіку.
- Включає механізми довіреної інфраструктури (PKI), що дозволяють ідентифікувати учасників і підтверджувати цілісність повідомлень.

Завдяки поєднанню цих трьох елементів ІТС-станції можуть функціонувати в умовах високої динамічності та критичної залежності від часу, забезпечуючи надійний, стандартизований і безпечний обмін інформацією між транспортними засобами, інфраструктурою та сервісними платформами.

2.2.3 Взаємодія ISO 21217 з іншими стандартами

Стандарт ISO 21217:2020 не функціонує ізольовано — він є ядром архітектури ITS-станції, а його повноцінна реалізація базується на взаємодії з іншими технічними стандартами, які доповнюють або уточнюють окремі її компоненти.

ISO 21218 — Communication Access Layer

Цей стандарт визначає доступ до комунікаційного середовища, тобто описує, як ІТС-станція використовує різні фізичні канали зв'язку (напр., IEEE 802.11p, LTE, 5G, оптичні канали тощо). Він забезпечує:

- Уніфіковану взаємодію з фізичними інтерфейсами;
- Підтримку динамічного вибору каналу передачі;

- Механізми мультиінтерфейсної роботи станції.

ISO 21217 використовує ISO 21218 як основу для реалізації рівня доступу до середовища передачі.

1. ISO 24102 (частини 1–6) — Management та Infrastructure Support

Цей серіал стандартів описує функції керування, підтримки і взаємодії з інфраструктурними службами, а також запуск, реєстрацію і обмін службовими повідомленнями між станціями.

Зокрема:

- ISO 24102-1: Загальні принципи керування ITS-станціями;
- ISO 24102-3: Обробка повідомлень реєстрації сервісів;
- ISO 24102-4: Обробка адрес і маршрутів.

ISO 21217 залежить від ISO 24102 у реалізації керування, взаємодії між сервісами та підтримки адресації в мережі.

Інші пов'язані стандарти

- ISO 17515: Забезпечення взаємодії між ІТС-станціями та хмарними сервісами.
- ISO 29281: Обмін повідомленнями між транспортними системами через IP.

Можемо сказати що стандарт ISO 21217 діє як базова архітектура, але його функціональність реалізується лише у поєднанні з іншими стандартами, що деталізують нижчі рівні зв'язку, управління, реєстрації та обміну даними. Їхня взаємодія формує цілісну екосистему ІТС, здатну ефективно працювати в умовах мобільності, мультипротокольності та високих вимог до безпеки.

2.3 Аспекти реалізації системи на основі ISO 21217

2.3.1 Технічні та програмні вимоги

Реалізація інтелектуальної транспортної системи (ІТС) на основі стандарту ISO 21217 передбачає дотримання ряду технічних та програмних вимог, що забезпечують сумісність, функціональність і безпеку системи.

Стандарт ISO 21217 описує архітектуру ITS-станції (ITS-S), яка включає кілька функціональних доменів та інтерфейсів взаємодії.

Технічні вимоги :

1. Обчислювальні ресурси:

- Вбудовані процесори або одноплатні комп'ютери (наприклад, ARM Cortex-A, Intel Atom).
- Мінімум 1 ГБ оперативної пам'яті для базових функцій ITS-S.
- Сховище даних (SSD або eMMC) обсягом від 8 ГБ для операційної системи та журналів обміну даними.

2. Засоби зв'язку:

- Підтримка DSRC / IEEE 802.11p для обміну короткодіапазонними повідомленнями.
- Можливість роботи з LTE/5G, Wi-Fi та Ethernet для широкосмугових або резервних каналів.
- GPS/ГЛОНАСС/Галілео-приймач для геопозиціювання.

3. Енергоспоживання:

- Енергоефективні компоненти, здатні працювати у транспортному середовищі (автомобілі, світлофори, дорожні пункти).
- Живлення від бортової мережі або автономних джерел (акумулятори, сонячні батареї).

4. Фізична надійність:

- Витривалість до температур ($-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$), вібрацій, вологи.
- Сертифікація відповідно до стандартів автомобільної та промислової електроніки (наприклад, ISO 16750, IP65/67).

2. Програмні вимоги :

1. Операційна система:

- Вбудовані Linux-дистрибутиви (Yocto, Ubuntu Core, OpenWRT).
- Підтримка багатозадачності та реального часу (RTOS — за потреби).

2. Програмна реалізація доменів ITS-S:

- Домен доступу до середовища (Access): драйвери та стек протоколів IEEE 802.11p, 3GPP, Ethernet.
- Домен обробки (Processing domain): модулі обробки повідомлень CAM, DENM, MAP, SPAT.
- Комунікаційний домен (Communication domain): підтримка IPv6, GeoNetworking, BTP, TCP/UDP.
- Безпека: реалізація сертифікаційного обміну, перевірка підписів, робота з PKI-інфраструктурою (ISO 21177).

3. Програмні інтерфейси:

- API для взаємодії між функціональними доменами.
- Інтерфейси для додатків: підтримка ITS-Application Entity (ITS-AE).

4. Оновлення та управління:

- Механізми безпечного оновлення ПЗ (OTA).
- Засоби журналювання, моніторингу та дистанційного керування.

5. Відповідність стандартам:

- Дотримання суміжних стандартів ISO 21210 (IPv6 communication), ISO 21215 (communication profile), ISO 21177 (security), ISO 24102 (управління станціями).

2.3.2 Сценарії застосування та підтримка мобільності

Стандарт ISO 21217 визначає референтну архітектуру ITS-станції (ITS-S), що забезпечує масштабовану підтримку інтелектуальних транспортних сервісів із врахуванням мобільності об'єктів. Основна особливість цієї архітектури — здатність адаптуватися до динамічного середовища, де вузли системи (автомобілі, пішоходи, дорожні пристрої) постійно переміщуються.

Сценарії застосування

1. V2V (vehicle-to-vehicle) — комунікація між транспортними засобами:
 - Запобігання зіткненням шляхом обміну CAM (Cooperative Awareness Messages - це один з ключових типів повідомлень, які використовуються

в інтелектуальних транспортних системах (ІТС) для забезпечення кооперативної обізнаності між транспортними засобами, інфраструктурою та іншими учасниками дорожнього руху.).

- Попередження про екстрене гальмування іншого автомобіля.
 - Координація при зміні смуги чи маневрах у щільному трафіку.
2. V2I (vehicle-to-infrastructure) — обмін даними з дорожньою інфраструктурою:
- Отримання даних про сигнали світлофора (SPAT, MAP повідомлення).
 - Попередження про дорожні умови, обмеження швидкості або ремонтні роботи (DENM — Decentralized Environmental Notification Messages).
 - Динамічне управління рухом (напр., адаптивна регуляція швидкості на основі завантаженості перехрестя).
3. V2N (vehicle-to-network) — взаємодія з центральними сервісами:
- Отримання даних про стан трафіку в реальному часі.
 - Передача телеметрії до центрів обробки.
 - Оновлення програмного забезпечення (OTA) для транспортних засобів.
4. V2P (vehicle-to-pedestrian) — взаємодія з мобільними пристроями пішоходів:
- Попередження пішоходів про наближення транспортного засобу.
 - Забезпечення безпеки велосипедистів на перехрестях.

Підтримка мобільності

ІТС-архітектура згідно з ISO 21217 враховує особливості динамічного переміщення компонентів у транспортному середовищі:

1. Мобільна топологія:
 - Система передбачає адаптивну маршрутизацію з урахуванням географічного положення та швидкості об'єкта (GeoNetworking).
 - Підтримка безперервного з'єднання між станціями навіть при зміні фізичного середовища.
2. Швидке з'єднання і повторне приєднання:

- ITS-S повинна забезпечувати низьку затримку при з'єднанні, критично важливу для безпеки дорожнього руху.
- Механізми обробки втрат сигналу, переключення між каналами та мережами (наприклад, з DSRC на LTE).

3. Геопросторове позиціонування:

- Постійна прив'язка до координат та синхронізація з геопросторовими подіями (наприклад, в'їзд у зону аварії).
- Інтеграція з картографічними сервісами (наприклад, MAP-повідомлення для розмітки перехресть).

4. Контекстно-орієнтована обробка:

- Адаптація повідомлень залежно від швидкості, напрямку руху, ролі учасника (автомобіль, велосипедист, пішохід).
- Динамічне регулювання пріоритетів трафіку на основі поточних умов.

2.3.3 Забезпечення безпеки та стійкості комунікаційної платформи

Однією з ключових вимог до архітектури ITS-станції, визначеної в стандарті ISO 21217, є забезпечення надійності, захисту даних та стійкості комунікацій в умовах високої мобільності та потенційного впливу шкідливих факторів. Для цього застосовується комплекс підходів, що враховують як кібербезпеку, так і відмовостійкість платформи.

1. Архітектурна підтримка безпеки

У системі ITS-S безпека реалізується на кількох рівнях:

- Безпека доступу до комунікаційного середовища (Access Domain Security):
- Захист від несанкціонованого підключення до мереж DSRC, LTE, 5G.
- Фільтрація MAC-адрес та контроль доступу до бездротових інтерфейсів.
- Криптографічний захист повідомлень:
- Підпис усіх критичних повідомлень (CAM, DENM) за допомогою електронних сертифікатів.

- Шифрування конфіденційних даних з використанням сучасних алгоритмів (наприклад, ECC, AES).
- Інфраструктура відкритих ключів (PKI):
- Використання сертифікатів транспортної безпеки відповідно до ISO 21177.
- Перевірка достовірності відправника та контроль терміну дії сертифікатів.

2. Виявлення та протидія загрозам

- Системи виявлення аномалій:
- Аналіз нетипових шаблонів повідомлень у реальному часі.
- Попередження про можливі атаки (наприклад, replay-атаки, spoofing).
- Механізми ізоляції:
- Логічне розділення доменів обробки та комунікації.
- Обмеження прав доступу між компонентами системи.
- Оновлення безпеки (Security Updates):
- Підтримка безпечного оновлення ПЗ (OTA) з перевіркою цифрового підпису пакету.
- Автоматичне розгортання патчів у разі виявлення вразливостей.

3. Стійкість до відмов та деструктивних впливів

- Мережева надмірність:
- Підтримка альтернативних каналів зв'язку (наприклад, перемикання між 802.11p і LTE при втраті з'єднання).
- Географічна маршрутизація (GeoNetworking), що дозволяє адаптуватися до змін топології мережі.
- Живучість компонентів:
- Вбудовані механізми перезапуску при збої.
- Використання watchdog-механізмів для контролю працездатності програмних модулів.
- Журнали подій та аудит:

- Протоколювання всіх подій обміну, спроб підключення та системних помилок.
- Можливість віддаленого перегляду та аналізу з боку адміністраторів.

4. Відповідність стандартам безпеки

Платформа ITS повинна відповідати вимогам наступних стандартів:

- ISO 21177 — Безпека V2X-комунікацій.
- ISO 27001 — Система управління інформаційною безпекою (ISMS).
- ISO 26262 — Функціональна безпека в автомобільній індустрії (для критичних систем).
- ETSI TS 103 097 — Сертифікація та управління ключами для ITS.

3 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ІТС ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ

3.1 Аналіз прикладів впровадження ІТС у різних країнах

3.1.1 Європейський досвід розгортання систем на базі ISO 21217

Європейські країни займають провідні позиції у впровадженні інтелектуальних транспортних систем (ІТС) відповідно до міжнародних стандартів, зокрема ISO 21217, який визначає архітектуру ITS-станції (ITS-S). Цей стандарт був інтегрований у європейські технічні специфікації ETSI та активно використовується в проєктах, пов'язаних із кооперативними інтелектуальними транспортними системами (C-ITS).

1. Загальна політика ЄС у сфері C-ITS

Європейська Комісія з 2016 року підтримує стратегічну ініціативу з впровадження C-ITS, спрямовану на забезпечення безпечної, ефективної та екологічної мобільності. Стандарти ISO 21217, ISO 21210, ISO 21177 та інші були адаптовані через ETSI TC ITS як основа для розгортання:

- ETSI EN 302 665 – архітектура ITS-станції (адаптація ISO 21217),
- ETSI TS 102 940/941/943 – безпека, сертифікація та управління повідомленнями,
- ETSI TS 102 637-2/3 – CAM та DENM повідомлення.

3.1.2 Розгляд національних стратегій та підходів (ФРН, Франція, Нідерланди)

Країни Західної Європи є лідерами у розгортанні кооперативних інтелектуальних транспортних систем (C-ITS) відповідно до стандартів ISO, зокрема ISO 21217. Незважаючи на спільне бачення в межах ЄС, кожна країна формує власну національну стратегію впровадження ІТС з урахуванням локальної інфраструктури, політичних пріоритетів і технічних ресурсів.

1. Федеративна Республіка Німеччина (ФРН)

Національна стратегія "Digitales Testfeld Autobahn" та участь у C-Roads Germany

- Фокус: покращення безпеки на автошляхах, автономне водіння, зменшення заторів.
- Організації: Федеральне міністерство транспорту (BMVI), TÜV, Fraunhofer, OEM-виробники (VW, BMW, Daimler).
- Підхід:
 - Розгортання Road Side Units (RSU) з підтримкою стандартів ISO 21217/ETSI.
 - Активна участь у розробці PKI-інфраструктури для сертифікації повідомлень (згідно з ISO 21177).
 - Орієнтація на відкриті стандарти, які дозволяють масштабування на інші країни ЄС.
- Ключові проекти:
 - Testfeld A9 – пілотне шосе з підтримкою V2X.
 - C-Roads Germany – мережеве з'єднання автошляхів та міських осередків.

2. Франція

Стратегія C-ITS в межах проєкту SCOOP@F та управління інфраструктурою через транспортні агентства

- Фокус: інтеграція інфраструктури, підвищення безпеки, взаємодія приватного та державного сектору.
- Організації: Міністерство екології, транспортна агенція CEREMA, OEM (Renault, PSA).
- Підхід:
 - Впровадження обміну повідомленнями CAM, DENM, SPAT, MAP у режимі реального часу.
 - Побудова гібридної мережі з використанням ITS-G5 (802.11p) та LTE/5G.

- Розгортання системи управління сертифікатами з підтримкою оновлень та відкликання.
- Ключові особливості:
 - Орієнтація на інфраструктурно-орієнтовану комунікацію (I2V).
 - Активне публічне фінансування, відкрите тестування з залученням користувачів.

3. Нідерланди

Інноваційна програма "Talking Traffic" як частина національної цифрової транспортної стратегії

- Фокус: міська мобільність, безпека пішоходів і велосипедистів, цифровізація інфраструктури.
- Організації: Міністерство інфраструктури та водного господарства, міста-партнери (Амстердам, Ейндговен), приватні компанії (Vialis, Dynniq).
- Підхід:
 - Децентралізоване впровадження: регіони самі впроваджують ITS-компоненти згідно з єдиними технічними вимогами.
 - Взаємодія з мобільними пристроями пішоходів через інтелектуальні транспортні застосунки.
 - Підключення розумних світлофорів (iVRIs) до ITS-S.
- Ключові риси:
 - Повна відповідність стандарту ISO 21217 у частині модульної архітектури.
 - Акцент на гнучкість, масштабованість і інтероперабельність.

Короткий опис стратегій впровадження наведений в Таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Опис стратегій впровадження

Країна	Основний фокус	Технології	Особливості впровадження
ФРН	Безпека на шосе, автономія	DSRC, LTE, ISO 21217, PKI	Потужна технічна база, масштабні тести
Франція	Інфраструктура, державна участь	ITS-G5, LTE, ISO 21217	Централізоване управління, багаторівнева сертифікація
Нідерланди	Міська мобільність, інновації	iVRI, LTE, мобільні сервіси	Децентралізований підхід, відкритість

3.1.3 Приклади пілотних проєктів в Україні

Хоча впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS) в Україні ще перебуває на початковому етапі порівняно з країнами ЄС, останні роки демонструють зростаючу зацікавленість у розвитку C-ITS-технологій відповідно до міжнародних стандартів, включаючи ISO 21217. Уряд, наукові установи та приватний сектор ініціюють проєкти, орієнтовані на підвищення безпеки, ефективності дорожнього руху та інтеграцію з європейським цифровим транспортним середовищем.

1. Проєкт "Інтелектуальний транспорт Києва" (Smart Traffic Kyiv)

- Ініціатор: Київська міська державна адміністрація (КМДА) у партнерстві з приватними технологічними компаніями.
- Мета: оптимізація дорожнього руху на основі даних з сенсорів, камер і світлофорів.
- Елементи ITS:
 - Встановлення адаптивних світлофорів з можливістю централізованого управління.
 - Введення інтелектуальної системи моніторингу заторів.
 - Передача даних до центра управління дорожнім рухом.

- Відповідність ISO 21217: часткова – реалізовано базові компоненти ITS-станції інфраструктури (RSU), але поки без повної C-ITS інтеграції.

2. Пілотний коридор "Львів – Краковець" (Європейський транспортний коридор)

- Ініціатори: Міністерство інфраструктури України, Державна служба з безпеки на транспорті, підтримка ЄС (Twinning, eFTA).
- Мета: модернізація транспортного сполучення з ЄС із впровадженням ITS на прикордонних ділянках.
- Функціональність:
 - Обмін даними між пунктами зважування у русі (WIM), пунктами відеофіксації та системами контролю митного руху.
 - В перспективі — впровадження V2I-обміну для попередження про затори, погодні умови тощо.
- Стандартизація: орієнтація на ISO 21217 як модель для майбутньої C-ITS інтеграції у транскордонному форматі.

3. Участь України в проєкті C-Roads Platform (з 2022 року – як асоційований учасник)

- Формат: спільна ініціатива країн ЄС з впровадження інтероперабельних C-ITS-рішень.
- Участь України:
 - Налагодження обміну технічними специфікаціями.
 - Підготовка до розгортання ITS-S згідно з архітектурою ISO 21217 на ключових автомагістралях.
 - Пілотні зони: траса М06 (Київ–Чоп), М03 (Київ–Харків).
- Поточний статус: підготовка до створення тестових зон з підтримкою кооперативного зв'язку.

4. Академічні ініціативи та прототипи

- Київський політехнічний інститут (КПІ), ХНУРЕ, ЛНУ імені Франка:
 - Розробка прототипів онборд-модулів (OBU) з підтримкою обміну CAM/DENM повідомленнями.

- Тестування GeoNetworking-маршрутизації в умовах міського руху.
 - Експерименти з використанням 4G/LTE та Wi-Fi як комунікаційних каналів.
 - Співпраця з бізнесом: стартапи у сфері IoT та Smart Mobility беруть участь у грантових ініціативах Horizon Europe, EIT Urban Mobility.
- В підсумку все можна сказати наступне :
- В Україні вже запущено кілька пілотних ІТС-проектів, які в тій чи іншій мірі враховують вимоги стандарту ISO 21217.
 - Найбільший потенціал мають:
 - інфраструктурні оновлення прикордонних коридорів,
 - міські ініціативи в Києві, Львові та Харкові,
 - академічні проекти, які можуть стати основою для національної C-ITS архітектури.
 - Основні виклики: відсутність єдиної державної стратегії C-ITS, обмежене фінансування, необхідність стандартизації.

3.2 Оцінка ефективності використання ІТС і стандарту ISO 21217

3.2.1 Методології оцінювання ефективності

Порівняльний аналіз. Порівнюють різні технології та рішення (наприклад, DSRC/ITS - G5 проти C - V2X, або системи зі стандартом ISO 21217 і без) за допомогою лабораторних та польових тестів. Наприклад, у 5GAA дослідженні порівнювали затримки передачі і надійність повідомлень між DSRC та C-V2X у лабораторії та на дорозі. Такі тести дозволяють виявити переваги та обмеження кожної технології.

Порівняльний аналіз до та після впровадження ІТС:

- Кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП);
- Середня швидкість руху та час поїздки;
- Обсяг викидів CO₂ і рівень заторів;

- Надійність та швидкість комунікацій між об'єктами ІТС.

Визначення ключових показників (KPI). На основі огляду літератури, опитувань експертів і семінарів формуються KPI для ITS (наприклад, відсутні аварії, швидкість потоку, рівень задоволеності користувачів тощо). ЄС-рекомендації з ITS пропонують методологію формування KPI через огляд стану справ, анкетування та робочі групи. У тестах V2X зазвичай вимірюють такі мережеві KPI: долю втрачених пакетів (PER), відсоток успішно прийнятих пакетів (PRR), потужність сигналу (RSSI), інтервал між пакетами (IPG) та затримку передачі.

Технічні KPI: затримка передачі даних, надійність з'єднання, кількість успішних повідомлень;

- Організаційні KPI: відповідність стандартам, інтеграція з іншими системами;
- Економічні KPI: витрати на впровадження/обслуговування, економія часу для користувачів.

Польові дослідження та пілоти. Проводять експерименти на дорогах, досліджуючи реальний рух і навантаження. Наприклад, у європейських пілотах C-ITS (проекти SCOOP@F, NordicWay, коридор NL–DE–AT, Austroads тощо) впроваджували ITS-G5 (802.11p) та LTE для передачі повідомлень про безпеку у реальному трафіку. Дані таких випробувань дають змогу перевірити KPI у природних умовах та врахувати випадки втраченого зв'язку чи інтерференції.

Моделювання та симуляції. Для попередньої оцінки застосовують математичні та комп'ютерні моделі трафіку і мереж (NS3, OPNET, SUMO тощо). Симуляції допомагають оцінити поведінку системи за різних сценаріїв (наприклад, навантаження, топології), отримати KPI без дорогого експерименту. Зазвичай комбінують моделювання з польовими даними.

SWOT-аналіз(метод стратегічного планування, який допомагає оцінити внутрішні та зовнішні фактори, що впливають на об'єкт аналізу (наприклад, проєкт, технологію, компанію чи систему, як-от ІТС)) та економічне

обґрунтування. Здійснюють аналіз сильних і слабких сторін, можливостей і загроз впровадження ITS (з урахуванням стандартів як ISO 21217), а також розраховують витрати і вигоди (аналіз «витрати – користь»). Завдяки комплексному підходу (поєднанню якісних та кількісних методів) забезпечують всебічну оцінку ефекту від проєкту.

3.2.2 Показники продуктивності: затримка, безпека, доступність

Затримка передачі (Latency). Визначає час від надсилання до отримання повідомлення. Для безпекових застосунків V2X вимоги зазвичай лежать на рівні десятків мілісекунд (наприклад, бюджет затримки ≈ 100 мс для попередження про аварію за стандартом SAE J2945/1). Експерименти показали, що і DSRC, і C-V2X можуть забезпечувати кінцеві затримки менше 100 мс в неконгестованому середовищі. При сильному навантаженні відрізки між пакетами (IPG) можуть збільшуватися, але контроль перевантажень (congestion control) дозволяє обох технологій зберігати затримки в межах допустимого.

Безпека. Оцінюють заходи кібербезпеки, цілісності даних та фізичної безпеки обладнання. Стандарт ISO 21217 вводить концепцію «обмеженої захищеної зони» (bounded secured managed domain), що вимагає аутентифікації вузлів, шифрування і захисту ключів. Фізична безпека передбачає захист RSU/OBU (наприклад, використання апаратних модулів HSM для захисту криптоключів на ITS-станції). Надійність безпеки системи оцінюють через кількість реалізованих механізмів захисту (TLS, HSM, сертифікація), аудити і тестування на проникнення.

Доступність послуг і мережі. Вимірюється часткою часу, коли сервіс ITS доступний і працює. Надійність сервісу оцінюють через коефіцієнт безвідмовної роботи (наприклад, uptime%) і середній час відновлення після відмови (MTTR). Надійність інфраструктури (на рівні транспортної мережі) визначається через метрики MTBF (mean time between failures). Загалом

«доступність» – це ймовірність, що система готова до роботи у будь-який момент, тоді як «надійність» – здатність працювати без збоїв протягом певного інтервалу. Для ITS-сервісів, що мають працювати 24/7, типовими цільовими показниками є 99+% доступності.

Надійність зв'язку. Відображає ймовірність коректної доставки повідомлень. Ключовими KPI є показники втрат та прийняття пакетів (Packet Error Rate – PER, Packet Reception Rate – PRR), а також міцність сигналу (RSSI) і стабільність каналу. Наприклад, випробування показали, що у критичних ситуаціях (конгестія, інтерференція) ресурси C-V2X дозволяють пріоритетним повідомленням досягати вищої долі доставлених пакетів, отже підвищують надійність безпекових обміну.

Відповідність ISO 21217 вимогам V2X-середовища. Оцінюють, наскільки реальна архітектура ITS-станції відповідає опису ISO 21217. Стандарт визначає ITS-станцію (ITS-SU) як сукупність функціональних блоків (керування, мережева частина, сервіси, безпека) з підтримкою декількох технологій зв'язку. Відповідність означає наявність захищеної доменної архітектури, можливості одночасного використання DSRC/ITS-G5 і мобільного зв'язку (LTE/5G) у рамках однієї ITS-станції. Також перевіряють, чи впроваджено ISO 21217 API для зв'язку між модулями та чи використовуються визначені стандартом процедури обміну даними (напр., протоколи управління станцією і безпековий менеджмент).

3.2.3 Висновки щодо доцільності впровадження

Стандарт ISO 21217 описує єдиний референтний каркас ITS-станції для транспортних мереж. Його впровадження сприяє уніфікації систем, взаємодії між різними компонентами V2X (автомобілі, придорожня інфраструктура, персональні пристрої) і підвищенню безпеки. Рекомендації щодо архітектури ITS-станцій закріплені у європейських документах: наприклад, у «ITS Handbook» C-ROADS ISO 21217 названо стандартом архітектури для ITS-

станцій, а нова редакція стандарту (2020 р.) розробляється для узгодження з сучасними C-ITS технологіями.

Практичні пілоти C-ITS уже використовують принципи ISO 21217 (SCOOP, NordicWay тощо), де ITS-станції в транспорті та на дорогах реалізовані із підтримкою кількох інтерфейсів (ITS-G5 і LTE) і механізмів безпеки. Ці проєкти доводять, що архітектура згідно з ISO 21217 працює в реальних умовах, хоча поки розгорнуті переважно в обмежених регіонах і сфокусовані на базових безпекових сервісах.

До перешкод впровадження належать високі початкові інвестиції (структура впровадження вимагає сертифікованого обладнання, розробки програмних модулів для управління ITS-станцією тощо), відсутність навичок у локальних розробників та потенційна складність інтеграції з існуючою інфраструктурою. Окрім того, поки немає жорстких нормативних вимог до обов'язкового застосування ISO 21217, адаптація стандарту відбувається здебільшого за рішенням операторів або в рамках міжнародних проєктів.

Незважаючи на це, подальший розвиток ITS та появу нових технологій (5G, розширені засоби передачі даних, блокчейн для безпеки тощо) свідчать про перспективність стандартизації. Розширюється нормативна база (оновлення ISO 21217 у 2020–2025 рр. покликане охопити V2X на основі 5G), що полегшить сумісність нових систем. Отже, впровадження ISO 21217 є доцільним з точки зору забезпечення взаємодії, безпеки та масштабованості сучасних ІТС.

3.3 Перспективи розвитку ІТС в контексті цифрової інфраструктури

3.3.1 Напрями подальших досліджень та інновацій

У контексті цифровізації транспортної системи, інтелектуальні транспортні системи (ІТС) виступають основою майбутньої мобільності, орієнтованої на безпеку, автоматизацію, екологічність і взаємодію. Подальші дослідження та інновації в ІТС спрямовані на такі ключові напрями:

1. Інтеграція 5G і майбутніх мереж (6G)

- Забезпечення ультранизької затримки (<10 мс), масової підключеності та високої надійності V2X-комунікацій.
- Підтримка автономного водіння рівнів 4–5 завдяки стабільному з'єднанню між автомобілями та хмарою.
- Дослідження в напрямі динамічного розподілу ресурсів, QoS для критичних транспортних сервісів.

2. Штучний інтелект (AI) і машинне навчання (ML)

- Прогнозування трафіку, аварій, поведінки учасників руху.
- Адаптивне управління світлофорами, потоками, паркуванням.
- Автоматичне виявлення аномалій та порушень у транспортному середовищі.

3. Квантова безпека та криптографія нового покоління

- Захист комунікацій V2X в умовах зростання кіберзагроз.
- Розробка криптографії, стійкої до квантових атак, для ІТС-компонентів (особливо критично для автономного транспорту).
- Стандартизація постквантових протоколів в ІТС.

4. IoT-розширення та цифрові двійники транспортної системи

- Мільйони сенсорів, з'єднаних у реальному часі, з можливістю моделювання трафіку, стану доріг, погодних умов.
- Цифрові двійники (Digital Twins) – віртуальні копії об'єктів ІТС для моніторингу та симуляцій.
- Інтеграція IoT-пристроїв у структуру ITS-S відповідно до ISO 21217.

5. Мікросервісна архітектура ITS і хмарні технології

- Перехід до гнучких, масштабованих, контейнеризованих сервісів (Kubernetes, Edge-обчислення).
- Використання Fog/Edge computing для зменшення затримки, децентралізації обробки трафіку.
- Інтеграція з цифровими платформами міст (smart city backbones)

6. Автоматизований транспорт (Connected and Automated Vehicles – CAV)

- Підтримка автономного керування через кооперативні дії з іншими учасниками руху (синхронізація траєкторій, обмін прогнозами).
- Дослідження моделей поведінки автономних ТЗ у змішаному русі (люди+роботи).
- Розробка стандартів етичної поведінки в автономних системах.

7. Сталий розвиток та “зелені” ІТС

- ІТС як інструмент скорочення викидів CO₂ через оптимізацію маршрутів, зменшення заторів, контроль швидкості.
- Еко-режими водіння, координація з зарядними станціями для EV.
- Дослідження впливу ІТС на загальний вуглецевий слід транспорту.

8. Інтероперабельність і транснаціональні стандарти

- Гармонізація національних ІТС з європейськими та глобальними (ISO, ETSI, IEEE).
- Розробка загальних платформ для обміну даними, відкритих API для взаємодії між постачальниками.
- Підтримка принципів "plug-and-play" для нових модулів ІТС.

9. Участь людини в ІТС: НМІ та етика

- Дослідження інтерфейсів взаємодії людина–машина (Human–Machine Interface) у критичних сценаріях.
- Роль людини в умовах напівавтоматизованого керування.
- Розробка етичних керівних принципів для автономного транспорту (на основі принципів ЄС).

В заключенні до цього можна сказати що, подальші дослідження ІТС лежать у площині цифровізації, автоматизації та сталого розвитку. Їхнє впровадження потребує глибокої взаємодії між інженерією, кібербезпекою, штучним інтелектом і нормативним регулюванням. Основною тенденцією є перехід до гнучких, мережевих, адаптивних систем, які забезпечать мобільність майбутнього.

3.3.2 Інтеграція ІТС з 5G, V2X та штучним інтелектом (AI)

5G як комунікаційна основа для ІТС

Технологія 5G забезпечує надзвичайно низьку затримку (менше 1 мс), що є критично важливим для систем реального часу, таких як автоматичне екстрене гальмування або кооперативне керування рухом. Висока пропускна здатність дає змогу передавати великі обсяги даних з транспортних сенсорів, камер, LIDAR-систем. Крім того, 5G підтримує масове підключення великої кількості IoT-пристроїв, що дозволяє реалізовувати повномасштабні системи інтелектуального управління трафіком.

V2X (Vehicle-to-Everything): новий рівень взаємодії

Комунікація V2X охоплює кілька напрямів:

- V2V (транспортний засіб – транспортний засіб)
- V2I (транспортний засіб – інфраструктура)
- V2P (транспортний засіб – пішохід)
- V2N (транспортний засіб – мережеві сервіси)

Ця технологія дає змогу транспортним засобам і дорожній інфраструктурі обмінюватися інформацією в реальному часі. Такий підхід підвищує ситуативну обізнаність, зменшує ризики зіткнень і дозволяє здійснювати проактивне керування дорожнім рухом.

Штучний інтелект (AI) в ІТС

Штучний інтелект застосовується для обробки великих обсягів даних у реальному часі, отриманих із сенсорів, GPS, камер спостереження тощо. На основі цих даних AI може прогнозувати поведінку учасників дорожнього руху, оптимізувати транспортні потоки, передбачати затори, аварії чи перевантаження ділянок дороги.

Особливо важливою є роль AI у реалізації автономного водіння, де використовуються алгоритми машинного навчання для розпізнавання об'єктів, аналізу дорожніх умов та прийняття рішень.

Переваги інтеграції :

1. Підвищення рівня безпеки за рахунок раннього виявлення загроз.
2. Оптимізація дорожнього руху та зменшення заторів.
3. Зниження шкідливих викидів за рахунок ефективного керування транспортними потоками.
4. Гнучкість і масштабованість ІТС завдяки адаптивним цифровим технологіям.

3.3.3 Рекомендації щодо впровадження ІТС в Україні

Технічні кроки впровадження.

Першочерговим етапом запровадження ІТС в Україні має стати впровадження систем зважування транспортних засобів у русі (Weigh-in-Motion, WIM). Такі комплекси дозволяють фіксувати вагові та габаритні порушення без зупинки транспортного потоку, що позитивно впливає на безпеку руху та зменшує зношення дорожнього покриття. Пілотний проєкт, реалізований у Київській області, передбачає встановлення шести WIM-комплексів, що стало важливим прикладом застосування європейських технологій у вітчизняній інфраструктурі.

Наступним напрямом є створення розгалуженої інфраструктури збору даних, яка включає встановлення відеокамер, індуктивних і радарних детекторів, сенсорів на перехрестях, а також інформаційних табло. Ці компоненти повинні бути інтегровані в єдині центри керування дорожнім рухом (Traffic Management Centers), що дозволить здійснювати адаптивне регулювання потоків, мінімізувати затори та покращити функціонування громадського транспорту.

Необхідним є використання стандартних комунікаційних протоколів, таких як IEEE 802.11p / ETSI ITS-G5 (DSRC) та 3GPP C-V2X (PC5/Uu), що забезпечують передачу критичних повідомлень (CAM, DENM) між транспортними засобами та інфраструктурою. Крім того, рекомендовано

імплементацию форматів обміну даними, таких як DATEX II та TPEG, відповідно до європейських нормативів. Це сприятиме сумісності національних ІТС із міжнародними системами.

Однією з ключових передумов успішного впровадження ІТС є розвиток широкосмужової телекомунікаційної інфраструктури, зокрема мереж 5G, які забезпечують низькі затримки, високу надійність та підтримку масового підключення IoT-пристроїв. Важливо також розробити технічні рішення щодо виділення частотного ресурсу в діапазоні 5,9 ГГц, що є стандартом для ITS у країнах ЄС.

Крім цього, особливу увагу слід приділити сертифікації апаратного і програмного забезпечення відповідно до міжнародних стандартів безпеки, таких як ISO/IEC 27000, ISO 21217 та регламентів UNECE WP.29 (зокрема R155 і R156). Забезпечення відповідності цим вимогам є обов'язковим для безпечного функціонування ІТС у кіберпросторі.

Нормативно-правове забезпечення.

Успішне впровадження ІТС потребує комплексної нормативної бази. Насамперед необхідно розробити національну концепцію або законодавчий акт, який регулює основи функціонування ІТС, визначає роль суб'єктів ринку та регламентує процес обробки даних. Окремо варто врегулювати питання конфіденційності та захисту персональних даних, що є особливо актуальним у контексті інтенсивного використання цифрових технологій.

Україна повинна здійснити адаптацію законодавства відповідно до Директиви 2010/40/ЄС (та її оновлення 2023/2661), яка встановлює вимоги до розгортання ІТС у державах-членах ЄС. Також доцільно гармонізувати національні технічні регламенти з міжнародними стандартами CEN, ISO та ETSI.

Ще одним критично важливим аспектом є формування нормативних актів, які регулюють використання частотного спектру для технологій ІТС та підтримують розвиток мобільних мереж п'ятого покоління вздовж основних транспортних коридорів. Окрім того, слід закріпити на законодавчому рівні

використання автоматизованих систем контролю, таких як електронні квитки, інтелектуальні паркомати, WIM-комплекси тощо.

Приклади пілотних проєктів.

На практиці в Україні вже реалізовано низку ініціатив у сфері ІТС. Зокрема, проєкт зі встановлення систем WIM в Київській області за підтримки Світового банку та компанії SweRoad. У столиці створено інтелектуальну систему відеоспостереження за дорожнім рухом на ключових магістралях, що дозволяє адаптивно регулювати сигнали світлофорів.

Також існують регіональні програми «Смарт-транспорт» (наприклад, у Київській області), що передбачають цифровізацію маршрутів громадського транспорту, диспетчеризацію та використання розумних світлофорів. Громадська асоціація «ITS Ukraine» виступає платформою для об'єднання технологічних компаній, обміну досвідом і розробки стратегій впровадження ІТС на національному рівні. Додатково вітчизняні університети та НДІ беруть участь у міжнародних дослідницьких проєктах за підтримки ЄС, Світового банку та інших донорів.

Рекомендована дорожня карта впровадження.

Для ефективного впровадження ІТС в Україні доцільно розробити та реалізувати національну дорожню карту, що включатиме:

1. Створення стратегії розвитку ІТС на базі Національної транспортної стратегії.
2. Координацію дій центральних органів виконавчої влади, місцевого самоврядування та приватного сектору.
3. Гармонізацію технічних стандартів із європейськими нормами (CEN/ISO/ETSI).
4. Розгортання пілотних проєктів з подальшою оцінкою ефективності та масштабуванням.
5. Стимулювання інвестицій у широкопasmову телекомунікаційну інфраструктуру та забезпечення відкритого доступу до транспортних даних.

6. Впровадження механізмів постійного моніторингу ефективності ІТС та коригування політики впровадження.

4 ІЛЮСТРАТИВНІ ТА ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

4.1 Схеми, блок-діаграми, моделі архітектури ІТС

У контексті впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) особливу роль відіграє чітке уявлення про архітектурну модель функціонування таких систем. Візуалізація технічної архітектури у вигляді схем, блок-діаграм та моделей дозволяє формалізувати принципи взаємодії між компонентами ІТС, сприяє уніфікації інженерних рішень та забезпечує основу для подальшої розробки стандартів і протоколів обміну даними.

Одним із найвідоміших підходів до моделювання ІТС є референтна архітектура, визначена в міжнародному стандарті **ISO 21217:2020**. Цей стандарт описує структуру ITS-станції — абстрактної системної одиниці, яка може бути реалізована як у транспортному засобі, так і у стаціонарному об'єкті інфраструктури. Архітектура ITS-станції базується на багаторівневій моделі, яка включає такі основні рівні:

- Рівень доступу до зв'язку (Communication Access Layer) — відповідає за фізичний доступ до мереж (802.11p, LTE, 5G тощо).
- Рівень мереж та транспорту (Networking & Transport Layer) — здійснює маршрутизацію пакетів і транспортування даних між компонентами.
- Рівень засобів (Facilities Layer) — реалізує функції обробки даних, управління сесіями, форматування повідомлень.
- Рівень застосунків (Applications Layer) — охоплює прикладні сервіси (напр., кооперативне управління рухом, адаптивне регулювання світлофорів, аварійне гальмування).
- Площини управління та захисту (Management & Security Planes) — забезпечують горизонтальні функції управління конфігурацією, моніторингу та захисту даних.

На графічних схемах (рис. 4.1) ці рівні відображаються у вигляді блоків, що забезпечують послідовність обробки інформації, її маршрутизацію.

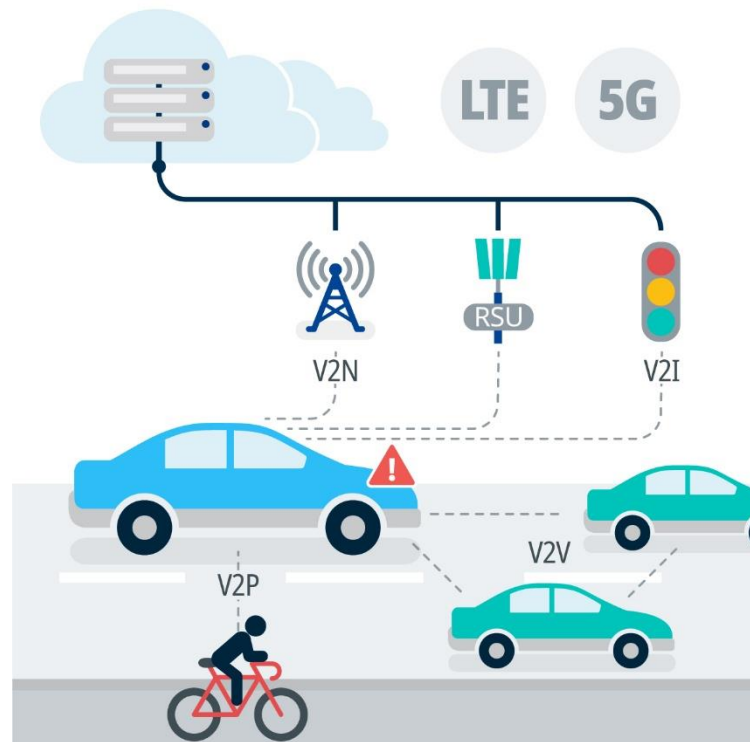


Рисунок 4.1 – Послідовність обробки інформації

Такий підхід дозволяє моделювати як окремі функціональні модулі, так і взаємодію між ними.

Відповідно до вимог директиви 2010/40/ЄС, яка встановлює рамкові умови для координації розгортання ІТС у державах-членах ЄС, такі моделі повинні враховувати міждоперабельність та масштабованість систем, зокрема з урахуванням майбутнього переходу до автоматизованого та автономного транспорту.

Таким чином, використання схем і блок-діаграм архітектури ІТС є критично важливим елементом під час розробки, планування та впровадження інтелектуальних транспортних рішень на національному та міжнародному рівнях.

4.2 Презентації та плакати щодо ISO 21217 та директиви

2010/40/ЄС Для оцінювання функціональних можливостей стандарту ISO 21217 та ефективності впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) доцільним є використання демонстраційних симуляційних

моделей, які дозволяють відтворити поведінку ІТС у реальних або умовно наближених до реальних умовах експлуатації.

Сценарій 1. Інформаційна взаємодія між транспортними засобами (V2V) у міських умовах

У межах симуляції моделюється ситуація взаємного обміну повідомленнями CAM (Cooperative Awareness Messages) між автомобілями, що рухаються щільним міським трафіком. Визначено затримку передачі даних, стабільність з'єднання, обсяг переданих пакетів та відсоток доставлених повідомлень у межах прийнятної затримки. Модель дозволяє оцінити вплив архітектурних принципів ISO 21217 на ефективність інформаційного обміну.

Сценарій 2. Взаємодія транспортного засобу з дорожньою інфраструктурою (V2I)

Симуляція реалізована для перевірки сценарію попередження водія про небезпечні умови на дорозі (випадки ожеледиці, аварійні ситуації, ремонтні роботи). Через симуляційне середовище відтворено передачу повідомлення DENM (Decentralized Environmental Notification Message) з боку інфраструктурної станції ITS до транспортного засобу з подальшим відображенням попередження в бортовій системі.

Сценарій 3. Використання ІТС у системі пріоритезації громадського транспорту на перехрестях

Демонстраційна модель показує можливість реалізації адаптивного керування світлофорами в режимі реального часу для надання пріоритету автобусам або трамваям. Аналіз проводився з урахуванням часу затримки, зменшення середнього часу очікування, а також частоти зупинок приватного транспорту.

Сценарій 4. Інтеграція ІТС з 5G-мережею у контексті автономного водіння

На основі віртуального середовища здійснюється симуляція транспортного вузла, що використовує комунікаційну інфраструктуру 5G для

обміну даними високої пропускної здатності. Оцінюється здатність стандарту ISO 21217 підтримувати високошвидкісну передачу в умовах щільного інформаційного трафіку, особливо для задач автономного керування.



Рисунок 4.2 – Застосування стандарту ISO 21217:2020

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було досліджено ключові аспекти впровадження інтелектуальних транспортних систем (ІТС) в контексті цифрової трансформації транспортної галузі Європейського Союзу та України. Особливу увагу приділено правовим та технічним засадам впровадження ІТС відповідно до Директиви 2010/40/ЄС, її делегованим актам, а також змінам, що відбувалися у 2010–2025 роках у зв'язку з розвитком технологій V2X, автономного транспорту та зростанням обсягів транспортних даних.

Окремим об'єктом дослідження виступив міжнародний стандарт ISO 21217:2020, який визначає архітектуру ITS-станцій, побудовану за модульним принципом. Його впровадження забезпечує міжсистемну сумісність, гнучкість комунікаційних технологій (LTE, 5G, DSRC) та безпеку обміну даними в транспортному середовищі. Структурно проаналізовано усі рівні ITS-станції — від фізичного доступу до мережі до прикладних сервісів і управління.

Важливим компонентом цифрової інфраструктури ІТС в ЄС є національні точки доступу (NAP), які забезпечують відкритий або ліцензований доступ до транспортних даних. У роботі проаналізовано їхнє функціональне призначення, типи даних (статичні, динамічні, сервісні, безпекові), формати обміну (DATEX II, SIRI, NeTEx), а також приклади реалізації у провідних країнах Європейського Союзу — Німеччині, Франції, Нідерландах. Показано, що NAP є ключовим елементом для підтримки інтероперабельності ІТС та розвитку концепції Mobility as a Service (MaaS).

У процесі роботи проведено комплексний аналіз нормативної бази, технологічних стандартів, архітектурних моделей та сучасних рішень в галузі транспортних систем. Виявлено основні переваги впровадження ІТС — підвищення безпеки дорожнього руху, зниження заторів, підвищення

ефективності логістики, інтеграція з автоматизованими транспортними засобами.

Таким чином, дипломна робота підтверджує актуальність впровадження ІТС в Україні з урахуванням європейських стандартів. Отримані результати можуть бути використані для подальших досліджень, розробки національних рішень у сфері транспортної цифровізації, а також як аналітична база для адаптації законодавства та технологічної інфраструктури відповідно до вимог ЄС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. AvtoAD Платформа автомобільних даних [<https://avtoad.com.ua>]
2. Standards CDN (iTeh Standards) [<https://cdn.standards>]
3. ANSI Webstore — American National Standards Institute [<https://webstore.ansi.org>]
4. Vodafone Chair Mobile Communications Systems TU Dresden [<https://www.vodafone-chair.org>]
5. CAR 2 CAR Communication Consortium [<https://www.car-2-car.org>]
6. ETSI — European Telecommunications Standards Institute [<https://www.etsi.org>]
7. DATEX II documentation [<https://datex2.eu/>]
8. SIRI (Service Interface for Real Time Information)
9. NeTEx (Network Timetable Exchange) — [<https://netex-cen.eu/>]
10. C-ROADS Platform — [<https://www.c-roads.eu/>]
11. Mobility as a Service (MaaS) Alliance — [<https://maas-alliance.eu/>]
12. EU ITS Urban Nodes Guidelines.
13. ENISA (2021). Cybersecurity in Connected and Automated Mobility.
14. World Bank (2021). Digital Transformation of Transport: Global Trends and Lessons for Ukraine.
15. OECD (2020). Data-Driven Transport Policy: Frameworks for Intelligent Mobility.
16. ERTICO – ITS Europe: White Papers and Roadmaps.
17. EU C-ITS Platform Final Report (2019).
18. McKinsey & Company (2023). The Future of Mobility and Smart Transport.
19. Deloitte (2021). Smart mobility: Shaping the future of transport.
20. European Court of Auditors (2022). ITS deployment audit report.

21. ITU-T FG-ITS. Reports on Intelligent Transport Systems and Digital Road Infrastructure.
22. ISO Central Secretariat – Technical Committee ISO/TC 204 Intelligent Transport Systems.
23. AIOTI (2022). IoT and Data Spaces for Mobility and ITS.
24. EU Digital Europe Programme (2023). Interoperable Data Spaces in Mobility.