

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра "Експлуатація та ремонт машин"



СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ

Конспект лекцій

для студентів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти спеціальності J8 "Автомобільний транспорт" денної та заочної  
форм навчання

Затверджено на засіданні кафедри  
експлуатації та ремонту машин  
Протокол № 20 від 17.06.2026 р.

Кропивницький, 2026

Кульова Д.О., Гриньків А.В., Аулін В.В. Конспект лекцій з дисципліни "СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ" для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності J8 "Автомобільний транспорт" денної та заочної форм навчання, Кропивницький: ЦНТУ, 2026. – 60 с.

Рецензенти:

Ляшук О.Л. – д.т.н., проф., перший проректор, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя;

Коваленко О.В. – д.т.н., проф., доц. каф. "Кібербезпеки та програмного забезпечення", Центральноукраїнський національний технічний університет.

Автори: Кульова Д.О. – д.ф., викл. каф. "ЕРМ";

Гриньків А.В. – к.т.н., с.н.д., викл. каф. "ЕРМ";

Аулін В.В. – д.т.н., проф. каф. "ЕРМ".

Відповідальний за випуск, комп'ютерний набір та верстка: Д.О. Кульова.

© Смарт-технології

© Автори: Д.О. Кульова, А.В. Гриньків, В.В. Аулін

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	4
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ	5
ТЕМА № 1. ВСТУП ДО СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ	5
ТЕМА № 2. СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ (ITS)	11
ТЕМА 3. АВТОМАТИЗОВАНІ ТА АВТОНОМНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ	22
ТЕМА 4. СМАРТ-ЛОГІСТИКА ТА ЦИФРОВІ ПЛАТФОРМИ У ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ	32
ТЕМА 5. ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ	39
ТЕМА 6. ТЕХНОЛОГІЇ V2X ТА ЗВ'ЯЗКУ У СМАРТ-ЛОГІСТИЦІ	43
ТЕМА 7. РОЗУМНІ МІСТА ТА ІНТЕГРАЦІЯ ТРАНСПОРТУ У ЛОГІСТИЧНІ СИСТЕМИ	47
ТЕМА 8. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА ТРАНСПОРТІ	52
ВИСНОВКИ	58
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	59

## ВСТУП

Сучасна світова економіка перебуває на етапі глобальної цифрової конвергенції, де класичні транспортні операції трансформуються у гнучкі, самоорганізовані кіберфізичні екосистемні моделі (Парадигма Logistics 4.0/5.0). Стрімке зростання обсягів транскордонної торгівлі, урбанізація та жорсткі вимоги до декарбонізації висувають нові вимоги до швидкості, безпеки та прозорості ланцюгів постачання. Традиційний підхід до управління перевезеннями, що базувався на реактивному виправленні помилок і паперовому документообігу, повністю вичерпав свій ресурс, поступившись предиктивному цифровому менеджменту.

Фундаментом цієї трансформації є інтеграція базового технологічного ядра: Інтернету речей (IoT), масивів Big Data та штучного інтелекту. Завдяки сенсориці транспортні засоби перетворюються на інтелектуальні вузли, здатні в режимі реального часу контролювати не лише геопозицію, а й параметри середовища (температуру холодного ланцюга, масу, осьові навантаження). На макрорівні ці дані обробляються алгоритмами машинного навчання, що матеріалізується у створенні Інтелектуальних транспортних систем (ITS). Вони динамічно керують трафіком міст, надають пріоритет громадському транспорту на світлофорах та оптимізують мультимодальні маршрути «від дверей до дверей».

Наступним етапом еволюції галузі є впровадження мережевої взаємодії V2X (Vehicle-to-Everything) на базі надшвидкісного зв'язку 5G, що забезпечує «нульову затримку» при обміні даними. Це відкриває шлях до безпечного розгортання «цифрових двійників» (Digital Twins) великих логістичних вузлів - таких як смарт-порти чи автоматизовані склади, де робототехніка (AGV, AS/RS) діє без участі людини. Водночас екологічний вектор змушує флот переходити на акумуляторні та водневі вантажівки, чиє функціонування координується «розумними» енергомережами Smart Grids для мінімізації витрат на зарядку.

Цей концепт спрямований на системне освоєння архітектури розумної логістики, нових професійних компетенцій, необхідних для формування відмовостійкої транспортних технологій.

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

## ТЕМА № 1.

### ВСТУП ДО СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ У ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ

Транспортна логістика є однією з галузей, де цифрові технології впроваджуються найбільш активно. Використання смарт-технологій дозволяє підвищити ефективність перевезень, забезпечити контроль транспортних процесів у режимі реального часу та покращити якість логістичного обслуговування. У цій лекції розглянуто основні поняття смарт-технологій, особливості цифровізації перевізного процесу та сучасні напрями їх застосування в транспортній логістиці.

#### 1.1 Основні поняття, цифровізація перевізного процесу

**Смарт-технологія** – це технологічне рішення, що використовує інтелектуальні алгоритми, підключення до мережі та автоматизовані процеси для оптимізації, підвищення ефективності та зручності в різних сферах діяльності.

*Смарт-технології* у транспортній логістиці являють собою сукупність інноваційних рішень, що застосовуються для підвищення ефективності, безпеки та екологічності перевезень. Вони базуються на інтеграції інформаційних технологій, сенсорних систем, штучного інтелекту та автоматизації процесів.

Основні компоненти смарт-технологій на транспорті:

*Інтернет речей (Internet of Things, IoT)* – підключення транспортних засобів, вантажів і інфраструктури до мережі для моніторингу та оптимізації процесів.

*Великі дані (Big Data)* – аналіз величезних масивів інформації для прийняття рішень.

*Штучний інтелект (ШІ) (Artificial Intelligence AI) та машинне навчання* – алгоритми, що прогнозують трафік, аварійність та попит на перевезення.

*Автоматизовані транспортні системи* – автономні вантажівки, дрони для доставки, автоматизовані склади.

Сучасні смарт-технології змінюють підхід до транспортних перевезень, дозволяючи підвищити їхню швидкість, зменшити витрати та підвищити екологічність галузі.

*Цифровізація перевізного процесу* – це впровадження сучасних інформаційних технологій, автоматизованих систем та інтелектуальних рішень у сфері організації та управління транспортними перевезеннями.

*Основна ідея цифровізації* – перетворення традиційних логістичних і транспортних операцій у цифрові процеси за допомогою IoT, AI, Big Data, автоматизованих систем та аналітики в реальному режимі часу.

*Мета цифровізації* – підвищити ефективність, безпеку та екологічність перевезень, мінімізувати затримки та зменшити витрати на транспортування.

На світовому ринку провідні компанії впроваджують цифрові технології, що докорінно змінюють підхід до перевезень. Наприклад, Amazon активно використовує автоматизовані склади, роботизовані системи та дрони для прискорення доставки, тоді як Tesla впроваджує електровантажівки з автопілотом, що дозволяє знижувати витрати на транспортування та підвищувати екологічність перевезень. Maersk & IBM розробили блокчейн-платформу TradeLens, яка забезпечує прозорий облік вантажоперевезень, спрощуючи митне оформлення та документообіг. Такі компанії, як Uber Freight, використовують алгоритми штучного інтелекту для автоматизованого підбору перевізників, а DHL розробляє розумні системи моніторингу вантажів, що дають змогу відстежувати переміщення товарів у реальному часі.

Важливою перевагою цифровізації є прискорення перевізного процесу. Використання штучного інтелекту для автоматичного планування маршрутів дозволяє мінімізувати затримки та обирати найефективніші шляхи.

Електронний документообіг скорочує час на оформлення перевізних документів, а роботизовані склади зменшують час на завантаження та розвантаження товарів. Додатково, впровадження дронів і автономних транспортних засобів відкриває можливості для швидкої доставки у

важкодоступні райони, що значно підвищує загальну ефективність логістичних ланцюгів.

Цифровізація транспортної галузі також вимагає відповідного законодавчого регулювання. Уряди багатьох країн активно працюють над впровадженням нормативно-правових актів, що сприятимуть розвитку цифрових перевезень. Зокрема, запровадження електронних товарно-транспортних накладних (e-TTN) дозволяє значно спростити процеси обліку та контролю, скорочуючи паперову роботу. Окремої уваги потребує регулювання автономного транспорту, адже безпілотні вантажівки та дрони стають все більш поширеними у логістичних системах. Не менш важливим аспектом є захист даних та кібербезпека – цифрові платформи обробляють величезні обсяги інформації, тому необхідно встановлювати чіткі стандарти щодо безпечного зберігання та передавання даних. Крім того, цифровізація митних процедур сприяє пришвидшенню перевірок на кордонах, що значно зменшує час очікування та покращує ефективність міжнародних перевезень.

Таким чином, цифровізація перевізного процесу є не просто технологічним трендом, а необхідністю для сучасної транспортної логістики. Вона відкриває нові можливості для автоматизації, підвищення безпеки, прискорення процесів і зниження витрат, роблячи транспортну систему більш ефективною та гнучкою у відповідь на виклики глобальної економіки.

## **1.2 Інтернет речей (IoT) у вантажних і пасажирських перевезеннях**

В загальному розумінні *Інтернет речей* – концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані датчики, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами в автоматичному режимі, за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку. Окрім датчиків, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об'єкти і пов'язані між собою через дротові чи бездротові мережі. Ці взаємопов'язані пристрої мають можливість зчитування та приведення в дію, функцію

програмування та ідентифікації, а також дозволяють виключити необхідність участі людини, за рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів.

**IoT у вантажних перевезеннях.** Інтернет речей у транспортній логістиці відіграє ключову роль у вдосконаленні управління перевезеннями. Завдяки IoT компанії можуть відстежувати транспортні засоби у реальному часі, контролювати умови перевезення чутливих вантажів і запобігати можливим втратам або пошкодженням товарів. Наприклад, сучасні GPS-трекери дозволяють не лише визначати місцезнаходження вантажу, а й оцінювати дорожню ситуацію для коригування маршруту в разі заторів або аварій. Датчики температури та вологості широко використовуються для транспортування медикаментів, харчових продуктів і небезпечних речовин, забезпечуючи їх схоронність під час руху.

Використання IoT дозволяє контролювати витрати пального та аналізувати стиль водіння, що допомагає зменшити експлуатаційні витрати та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Розумні транспортні інфраструктури, такі як адаптивні світлофори та цифрові платформи моніторингу трафіку, також активно використовують IoT для зменшення заторів і підвищення ефективності руху транспорту.

**IoT у пасажирських перевезеннях.** Впровадження IoT у сфері пасажирських перевезень спрямоване на підвищення комфорту, безпеки та ефективності громадського транспорту. Завдяки розумним системам відеоаналітики та розпізнавання облич у громадському транспорті можна виявляти потенційні загрози, що підвищує рівень безпеки пасажирів.

Датчики завантаженості салону допомагають оптимізувати розклад руху, дозволяючи перевізникам оперативно реагувати на зміну пасажиропотоку. Також IoT дає змогу пасажирам отримувати в реальному часі інформацію про прибуття транспорту, завдяки чому вони можуть краще планувати свої поїздки. Використання електронних квитків і безконтактних платежів значно спрощує процес оплати проїзду та підвищує швидкість посадки.

Додатково, моніторинг технічного стану громадського транспорту за допомогою IoT дає можливість вчасно виявляти несправності, що дозволяє запобігати аваріям та покращує загальну якість транспортного обслуговування.

### **1.3 Приклади смарт-рішень у логістиці**

Смарт-рішення у транспортній логістиці включають широкий спектр технологій, спрямованих на автоматизацію процесів, підвищення ефективності перевезень і мінімізацію витрат. Вони застосовуються на всіх етапах логістичного ланцюга: від планування маршрутів і управління автопарками до забезпечення безпеки вантажів та оптимізації складських операцій.

Одним із ключових прикладів є *автоматизовані системи управління транспортом (TMS – Transport Management Systems)*, які дають змогу перевізникам контролювати логістичні процеси в режимі реального часу. Такі системи використовуються для моніторингу місцезнаходження транспортних засобів, розрахунку найоптимальніших маршрутів і прогнозування можливих затримок через погодні умови або дорожні затори.

Іншим важливим напрямом є *впровадження роботизованих систем на складах та логістичних хабах*. Використання автоматизованих сортувальних ліній і роботів для комплектації замовлень суттєво знижує витрати на персонал і скорочує час обробки товарів. Такі технології вже активно застосовуються компаніями Amazon, Alibaba та DHL.

*Big Data та аналітика штучного інтелекту (AI)* відіграють важливу роль у прогнозуванні попиту на перевезення та оптимізації транспортних потоків. Дані про замовлення, погодні умови, завантаженість доріг та стан транспортних засобів аналізуються в режимі реального часу, що дозволяє підвищити точність логістичних рішень і зменшити кількість простоїв.

Розвиток *інтелектуальних транспортних систем* сприяє покращенню безпеки дорожнього руху та підвищенню ефективності перевезень. Вони включають адаптивні світлофори, системи розпізнавання дорожніх знаків, автоматичне регулювання швидкості транспортних засобів та прогнозування

аварійних ситуацій. Такі технології використовуються в смарт-містах для оптимізації руху громадського транспорту та зменшення заторів.

Одним із перспективних напрямів є *розвиток автономних транспортних засобів*, які дозволяють знизити витрати на перевезення та підвищити їхню безпеку. Компанії Tesla, Waymo та Embark активно тестують безпілотні вантажівки, які можуть здійснювати міжміські перевезення без участі водія.

Таким чином, впровадження смарт-рішень у логістиці не лише покращує якість перевезень, а й дозволяє компаніям зменшити витрати, підвищити екологічність транспорту та забезпечити кращу взаємодію між усіма учасниками логістичного процесу. Смарт-технології змінюють сучасну логістику, підвищуючи її ефективність та гнучкість.

Серед найяскравіших прикладів застосування смарт-рішень у логістиці можна відзначити впровадження безпілотної доставки дронами компанією Amazon, використання автономних вантажівок Tesla Semi для зниження витрат на перевезення та оптимізацію логістичних процесів у Китаї завдяки розумним хабам і автоматизованим складам. Крім того, цифрові платформи Uber Freight та Convoy дозволяють автоматизувати пошук перевізників, скорочуючи час і витрати на транспортування вантажів.

#### **Контрольні питання:**

1. Що розуміють під поняттям «смарт-технології» у транспортній логістиці?
2. Які переваги забезпечує цифровізація перевізного процесу?
3. Для чого використовуються технології Big Data та штучного інтелекту в логістиці?
4. Які задачі вирішує Інтернет речей (IoT) у транспортних перевезеннях?
5. Які смарт-рішення найбільш активно впроваджуються сучасними логістичними компаніями?

## ТЕМА № 2.

# СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ (ITS)

Інтелектуальні транспортні системи є одним із ключових напрямів цифрової трансформації транспортної галузі. Вони забезпечують ефективне управління транспортними потоками, підвищення безпеки перевезень та оптимізацію використання транспортної інфраструктури завдяки застосуванню сучасних інформаційних технологій, засобів зв'язку та автоматизованих систем управління. У цій лекції розглянуто принципи функціонування ITS, їх роль в управлінні перевезеннями та основні напрями практичного застосування на транспорті.

### **2.1 Інтелектуальні транспортні системи для управління вантажопотоками**

Інтелектуальні транспортні системи (ITS, Intelligent Transport Systems) – це сукупність технологій та рішень, спрямованих на підвищення ефективності транспортних перевезень за допомогою цифрових систем управління, автоматизації процесів та обробки великих масивів даних.

ITS – це технологічні рішення, що інтегрують інформаційні технології, зв'язок, датчики та AI для координації транспортних процесів.

Застосування ITS на транспорті:

#### ***1. Громадський транспорт (Public Transport ITS).***

Диспетчеризація маршрутів автобусів, трамваїв, метро.

Інтелектуальні зупинки з реальним відображенням часу прибуття транспорту.

Автоматизовані системи оплати проїзду (електронний квиток).

***Диспетчеризація маршрутів автобусів, трамваїв і метро*** – це процес автоматизованого управління рухом громадського транспорту, який забезпечує ефективний розклад, зменшення затримок, оптимальне використання транспорту та покращення комфорту пасажирів. Основними завданнями диспетчеризації є координація руху, контроль дотримання розкладу автобусів,

трамваїв та метро в режимі реального часу, оперативне коригування маршрутів у разі заторів, аварій чи поломок, моніторинг транспорту за допомогою GPS-трекерів та сенсорів, забезпечення рівномірного інтервалу руху для запобігання накопиченню або нерівномірному розподілу транспорту на маршруті, а також автоматизація оплати та обліку пасажирів шляхом інтеграції електронного квитка та безконтактних платежів.

Сучасні технології відіграють ключову роль у диспетчеризації. Використання GPS-моніторингу дозволяє визначати місцезнаходження громадського транспорту в реальному часі, інтелектуальні транспортні системи (ITS) забезпечують прогнозування часу прибуття, коригування маршрутів та аналіз трафіку, а Big Data та AI аналізують пасажиропотік, дозволяючи регулювати кількість транспорту на маршруті.

Інтеграція V2X-комунікацій забезпечує зв'язок транспорту з дорожньою інфраструктурою, наприклад, із розумними світлофорами, які можуть надавати пріоритет громадському транспорту. Водночас електронні квиткові системи автоматизують контроль оплати проїзду та прогнозують пасажиропотік.

Диспетчеризація працює по-різному в залежності від виду транспорту. В автобусних перевезеннях застосовується автоматичне регулювання інтервалу руху залежно від заторів та завантаженості зупинок, можливість відстеження транспорту через мобільні додатки, а також пріоритетний проїзд автобусів завдяки адаптивним світлофорам. У трамвайній системі ITS допомагає регулювати маршрути при зміні дорожньої ситуації, забезпечує пріоритетний рух через автоматичне управління світлофорами та контроль технічного стану вагонів через сенсори. У метро автоматизовані системи керування, такі як безпілотне управління (впроваджене у лондонському метро або метро Дубая), дозволяють аналізувати пасажиропотік та коригувати частоту руху поїздів у години пік, а також автоматично інформувати пасажирів через інтегровані диспетчерські системи.

У світі є чимало успішних прикладів диспетчеризації громадського транспорту. Наприклад, у Сінгапурі система Smart Bus використовує AI для

прогнозування заторів і перерозподілу маршрутів у реальному часі, а в Лондоні система TfL (Transport for London) об'єднує дані про рух метро, автобусів та залізничного транспорту, забезпечуючи зручну навігацію для пасажирів.

Таким чином, диспетчеризація громадського транспорту є важливим елементом сучасної транспортної системи, який дозволяє зменшити затримки, покращити якість перевезень та підвищити ефективність використання інфраструктури. Використання інтелектуальних систем моніторингу, прогнозування руху та автоматизації управління сприяє більшій зручності пасажирів і зниженню навантаження на дорожню мережу.

### ***2. Керування міським рухом (Urban Traffic Management).***

Інтелектуальні світлофори, що змінюють фази залежно від завантаженості.

Камери контролю швидкості, розпізнавання номерних знаків.

V2X комунікації між транспортом та інфраструктурою.

### ***3. Безпека на дорогах (Road Safety & Incident Management).***

Інтелектуальні транспортні системи відіграють важливу роль у підвищенні рівня безпеки дорожнього руху завдяки використанню цифрових технологій для попередження аварійних ситуацій, контролю поведінки транспортних засобів та швидкого реагування на небезпеки.

Одним із ключових напрямів є використання ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) – систем допомоги водієві, які включають автоматичне екстрене гальмування, контроль дистанції, утримання смуги руху, виявлення перешкод та попередження про можливе зіткнення. Такі системи аналізують інформацію від камер, радарів і сенсорів та допомагають водієві уникнути небезпечних ситуацій.

Контроль дорожньої обстановки та оповіщення про небезпеки здійснюється за допомогою камер відеоспостереження, IoT-датчиків, GPS-моніторингу та аналітичних систем. Вони дозволяють у режимі реального часу отримувати інформацію про затори, дорожні роботи, погодні умови, аварії та інші фактори, які можуть впливати на безпеку руху.

Важливим елементом ITS є автоматичне виявлення ДТП та виклик екстрених служб. Сучасні транспортні засоби можуть самостійно визначати факт аварії за допомогою датчиків удару та передавати інформацію про місце події рятувальним службам. Це скорочує час реагування та підвищує ефективність надання допомоги постраждалим.

Загалом використання інтелектуальних систем безпеки дозволяє зменшити кількість ДТП, мінімізувати вплив людського фактора та зробити транспортні перевезення більш безпечними й ефективними.

*Контроль дорожньої обстановки та оповіщення про небезпеку* – це система моніторингу стану доріг, транспортного потоку та погодних умов у режимі реального часу, що дозволяє попереджати водіїв і відповідні служби про небезпечні ситуації, допомагаючи уникати аварій, заторів і несприятливих умов для руху. Основними завданнями такого контролю є моніторинг дорожньої ситуації, який передбачає збір даних про трафік, погодні умови та стан покриття доріг, виявлення аварій і небезпечних ділянок, таких як ДТП, перевищення швидкості чи несприятливі погодні умови, оповіщення водіїв у реальному часі про затори, ремонтні роботи та погодні ризики через мобільні додатки, навігатори та електронні дорожні знаки, а також регулювання дорожнього руху шляхом зміни світлофорних фаз або перекриття смуг у разі потреби.

Для ефективного функціонування таких систем використовуються сучасні технології, зокрема системи відеоспостереження та датчики руху, які забезпечують моніторинг трафіку в режимі реального часу, GPS і IoT-сенсори, що аналізують завантаженість доріг, штучний інтелект і машинне навчання, які прогнозують затори та оцінюють ризики на основі історичних даних, а також V2X-комунікації, що забезпечують обмін інформацією між транспортними засобами та дорожньою інфраструктурою. Додатково використовуються динамічні дорожні знаки, що змінюють інформацію залежно від ситуації на дорозі, а також дорожні метеостанції, які визначають рівень зчеплення з дорогою, наявність опадів, ожеледь чи туман і передають ці дані диспетчерам та водіям.

Функціонування системи оповіщення про небезпеки проходить кілька ключових етапів. Спершу відбувається збір даних із датчиків, камер, метеостанцій і транспорту, після чого інформація обробляється штучним інтелектом, який прогнозує ризики та визначає потенційно небезпечні ситуації. Далі водії отримують оповіщення через навігаційні системи, мобільні додатки, такі як Google Maps або Waze, електронні дорожні знаки або бортові інформаційні системи автомобілів. На останньому етапі відбувається оперативне реагування, яке може включати зміну роботи світлофорів, перекриття доріг, надсилання патрульних або рятувальних служб на місце події.

Прикладом успішного впровадження подібних систем є INRIX Traffic, яка аналізує трафік у США та Європі в режимі реального часу та попереджає водіїв про затори, ДТП і небезпечні погодні умови. Іншим прикладом є система Waze, яка працює на основі краудсорсингу, дозволяючи водіям самостійно повідомляти про небезпеки, а також автоматизовані центри керування дорожнім рухом у ЄС, що контролюють адаптивні світлофори, швидкість руху та попереджають водіїв про аварії.

Таким чином, контроль дорожньої обстановки та система оповіщення про небезпеки є невід'ємною частиною інтелектуальних транспортних систем. Вони дозволяють знизити ризик аварій, покращити потік транспорту та мінімізувати негативний вплив погодних умов на безпеку руху. Використання сучасних технологій, таких як IoT, AI, V2X та метеодатчики, дозволяє своєчасно реагувати на зміни дорожньої ситуації та забезпечувати безпечні та ефективні перевезення.

#### ***4. Автоматизовані платні дороги та паркінгу (Toll & Parking ITS)***

Системи безконтактної оплати проїзду (RFID, ANPR).

Динамічне ціноутворення на платних дорогах залежно від заторів.

Інтелектуальні парковки з датчиками зайнятості місць.

#### ***5. Вантажні перевезення (Logistics & Freight ITS)***

Моніторинг вантажу в реальному режимі часу.

Оптимізація маршрутів вантажного транспорту.

Автономні вантажівки та безпілотна доставка.

*Оптимізація маршрутів вантажного транспорту* – це процес вибору найкращого маршруту для вантажівок з урахуванням часу, витрат, безпеки, екологічних факторів та навантаження на дороги. Оптимізація маршруту враховує кілька ключових факторів. По-перше, це завантаженість доріг: використання GPS та Big Data дозволяє аналізувати поточний трафік і прогнозувати затори, а також вибирати альтернативні маршрути у разі аварій або ремонтних робіт. По-друге, враховуються обмеження для вантажного транспорту, такі як заборони на в'їзд до певних зон (міські центри, житлові райони), обмеження за висотою мостів та вагою на дорогах, а також наявність місць для зупинки та дозаправки.

Також важливу роль відіграють метеоумови та сезонність, оскільки взимку можливі затримки через ожеледь та снігопади, а вибір маршрутів із розвиненою інфраструктурою обслуговування допомагає уникнути проблем. Оптимізація маршрутів також спрямована на зменшення витрат на паливе та врахування екологічних факторів – вибір маршрутів із меншими заторами та оптимальним рельєфом дозволяє зекономити паливе та зменшити викиди CO<sub>2</sub>.

Сучасні автоматизовані рішення відіграють вирішальну роль у маршрутизації. AI та машинне навчання дозволяють динамічно розподіляти маршрути в реальному часі, а V2X комунікації забезпечують обмін інформацією між транспортом, світлофорами, паркінгами та митними пунктами. Для досягнення максимальної ефективності використовуються різні технології. Геоінформаційні системи (GIS) інтегрують карти, GPS-дані та трафік-аналітику для побудови оптимальних маршрутів, Big Data аналізує великі обсяги інформації про рух транспорту, стан доріг та попит на перевезення, а автоматизовані системи управління транспортом (TMS) контролюють маршрути та навантаження, перерозподіляючи транспортні потоки. Крім того, автономні вантажівки, оснащені штучним інтелектом, самостійно вибирають оптимальні маршрути та мінімізують витрати.

На практиці оптимізація маршрутів уже активно застосовується провідними компаніями. Наприклад, Amazon Logistics використовує AI-

алгоритми для динамічної маршрутизації доставки товарів, Uber Freight аналізує вільні вантажівки та пропонує найшвидший маршрут з урахуванням часу прибуття та витрат, а Tesla Semi використовує автономні навігаційні системи для вибору найефективніших маршрутів для електровантажівок.

Таким чином, оптимізація маршрутів вантажного транспорту є ключовою складовою інтелектуальних транспортних систем, що дозволяє зменшити витрати, прискорити доставку та покращити екологічну ситуацію. Інтеграція сучасних цифрових технологій у логістику дає змогу підвищити ефективність транспортної інфраструктури та забезпечити стабільний розвиток перевезень у майбутньому.

Основні компоненти ITS у вантажних перевезеннях:

1. Автоматизоване керування логістичними ланцюгами:

– взаємодія між відправниками, перевізниками та отримувачами через цифрові платформи;

– використання цифрових транспортних коридорів із централізованим управлінням.

2. Системи контролю трафіку та вантажопотоків:

– диспетчеризація на основі даних IoT (сенсори, GPS, камери);

– використання цифрових карт і прогнозування завантаженості доріг.

3. Автоматизовані системи безпеки:

– контроль перевищення швидкості, дотримання правил руху та технічного стану ТЗ;

– виявлення аварійних ситуацій у реальному часі (ADAS – Advanced Driver Assistance Systems).

Приклади впровадження ITS у логістиці:

– Maersk та IBM TradeLens – використання блокчейн-платформи для спрощення логістичних процесів та обміну даними між учасниками перевезень;

– автоматизовані перевалочні хаби (наприклад, у Нідерландах), які використовують ITS для управління вантажопотоками та автоматичного сортування контейнерів;

– автоматизовані логістичні коридори в порту Роттердама та використання ITS.

Автоматизовані логістичні коридори в порту Роттердама є передовим прикладом використання інтелектуальних транспортних систем (ITS) для оптимізації вантажопотоків, зменшення часу розвантаження контейнерів та підвищення ефективності логістичних процесів. Порт Роттердама є одним із найбільших транспортних хабів Європи, через який щорічно проходять мільйони контейнерів, тому впровадження сучасних цифрових технологій стало необхідністю для підтримки його конкурентоспроможності.

Всі процеси в порту керуються через цифрову платформу Portbase, яка об'єднує дані про судна, вантажі, термінали, вантажівки та залізничні перевезення в єдину систему. Це дозволяє здійснювати миттєвий обмін інформацією між учасниками логістичного ланцюга та автоматизувати ключові операції. Інтелектуальні транспортні системи відіграють важливу роль у контролі руху контейнеровозів, вантажівок, потягів і барж, що перевозять вантажі територією порту. Використання GPS-трекерів і IoT-сенсорів дає змогу в реальному часі відстежувати місцеперебування кожного контейнера та контролювати процеси завантаження й розвантаження. Завдяки автоматизованим кранам і роботизованим транспортним засобам розвантаження відбувається без участі людини, що значно скорочує час обробки вантажів.

Для управління транспортними потоками в порту впроваджено автономні вантажівки та безпілотні електроплатформи AGV (Automated Guided Vehicles), які здійснюють перевезення контейнерів між терміналами без водіїв. Крім того, система Smart Gate автоматизує доступ вантажного транспорту до терміналів, дозволяючи в'їзд лише за попереднім цифровим бронюванням. Важливим компонентом автоматизації є електронний документообіг, який включає електронні митні декларації, що спрощують процедури перевірки вантажів і скорочують час оформлення на кордоні, а також блокчейн-технології, які забезпечують прозорий облік переміщення контейнерів та митних процедур.

Завдяки впровадженню ITS у порту Роттердама вдалося суттєво скоротити час розвантаження контейнерів – якщо раніше обробка одного контейнера займала

від двох до трьох годин, то зараз цей процес триває 30-40 хвилин. Динамічне управління транспортними потоками дозволило значно зменшити затори на території порту, що позитивно вплинуло на пропускну здатність і швидкість логістичних операцій. Важливим досягненням є й зменшення викидів CO<sub>2</sub> завдяки використанню автономних електровантажівок і безпілотних кранів, що знижує загальне споживання пального та робить порт екологічно стійкішим.

Таким чином, автоматизовані логістичні коридори в порту Роттердама є ефективним прикладом цифрової трансформації транспортної галузі. Використання ITS дозволяє підвищити швидкість та безпеку вантажоперевезень, зменшити витрати, мінімізувати людський фактор і покращити екологічну ситуацію. Така модель може стати орієнтиром для модернізації інших портів та логістичних центрів у світі.

## **2.2 Оптимізація маршрутів та управління заторами**

*Оптимізація маршрутів вантажного транспорту* – це процес вибору найкращого маршруту для вантажівок з урахуванням часу, витрат, безпеки, екологічних факторів та навантаження на дороги. Оптимізація маршруту враховує кілька ключових факторів. По-перше, це завантаженість доріг: використання GPS та Big Data дозволяє аналізувати поточний трафік і прогнозувати затори, а також вибирати альтернативні маршрути у разі аварій або ремонтних робіт. По-друге, враховуються обмеження для вантажного транспорту, такі як заборони на в'їзд до певних зон (міські центри, житлові райони), обмеження за висотою мостів та вагою на дорогах, а також наявність місць для зупинки та дозаправки.

Також важливу роль відіграють метеоумови та сезонність, оскільки взимку можливі затримки через ожеледь та снігопади, а вибір маршрутів із розвиненою інфраструктурою обслуговування допомагає уникнути проблем. Оптимізація маршрутів також спрямована на зменшення витрат на пальне та врахування екологічних факторів – вибір маршрутів із меншими заторами та оптимальним рельєфом дозволяє зекономити пальне та зменшити викиди CO<sub>2</sub>.

Сучасні автоматизовані рішення відіграють вирішальну роль у маршрутизації. AI та машинне навчання дозволяють динамічно розподіляти маршрути в реальному часі, а V2X комунікації забезпечують обмін інформацією

між транспортом, світлофорами, паркінгами та митними пунктами. Для досягнення максимальної ефективності використовуються різні технології. Геоінформаційні системи (GIS) інтегрують карти, GPS-дані та трафік-аналітику для побудови оптимальних маршрутів, Big Data аналізує великі обсяги інформації про рух транспорту, стан доріг та попит на перевезення, а автоматизовані системи управління транспортом (TMS) контролюють маршрути та навантаження, перерозподіляючи транспортні потоки. Крім того, автономні вантажівки, оснащені штучним інтелектом, самостійно вибирають оптимальні маршрути та мінімізують витрати.

На практиці оптимізація маршрутів уже активно застосовується провідними компаніями. Наприклад, Amazon Logistics використовує AI-алгоритми для динамічної маршрутизації доставки товарів, Uber Freight аналізує вільні вантажівки та пропонує найшвидший маршрут з урахуванням часу прибуття та витрат, а Tesla Semi використовує автономні навігаційні системи для вибору найефективніших маршрутів для електровантажівок.

Таким чином, оптимізація маршрутів вантажного транспорту є ключовою складовою інтелектуальних транспортних систем, що дозволяє зменшити витрати, прискорити доставку та покращити екологічну ситуацію. Інтеграція сучасних цифрових технологій у логістику дає змогу підвищити ефективність транспортної інфраструктури та забезпечити стабільний розвиток перевезень у майбутньому.

Приклади застосування:

Лондонська система управління трафіком – AI-моделі, що передбачають затори та коригують потік автомобілів у режимі реального часу.

Uber Freight – алгоритми, що розподіляють вантажні маршрути залежно від заторів, доступних перевізників та погодних умов.

### **2.3 Автоматизовані системи збору плати за проїзд**

Застосування сучасних цифрових технологій для автоматизації розрахунків за проїзд на платних дорогах та в міських зонах.

Основні види автоматизованих систем оплати:

1. ETC (Electronic Toll Collection) використовує RFID-технологій для безконтактної оплати без зупинки і скорочує час проїзду платних ділянок і зменшує затори.

2. ANPR (Automatic Number Plate Recognition) має камери з розпізнаванням номерних знаків для автоматичної фіксації проїзду через платні ділянки.

3. Гнучке ціноутворення (Dynamic Toll Pricing) – вартість проїзду змінюється залежно від завантаженості дороги. Застосовується в мегаполісах для зменшення пікового трафіку.

Приклади впровадження:

Сінгапурська система ERP (Electronic Road Pricing) – регулює трафік, змінюючи вартість проїзду в залежності від часу доби.

E-ZPass (США) – RFID-система автоматичної оплати, що охоплює понад 35 штатів.

#### **Контрольні питання:**

1. Що розуміють під поняттям «інтелектуальна транспортна система»?
2. Наведіть приклади застосування ITS у громадському транспорті.
3. Які технології використовуються для контролю дорожньої обстановки та оповіщення про небезпеки?
4. Які фактори враховуються під час оптимізації маршрутів вантажного транспорту?
5. У чому полягають переваги автоматизованих систем збору плати за проїзд?

## ТЕМА 3.

### АВТОМАТИЗОВАНІ ТА АВТОНОМНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ

Розвиток глобальних та локальних ланцюгів постачання характеризується критичною залежністю від швидкості, точності та енергоефективності транспортних процесів. Традиційні моделі управління автопарками досягли своєї межі ефективності через вплив людського фактора (втома водіїв, суб'єктивні помилки в маршрутизації) та ріст експлуатаційних витрат.

Впровадження автономних вантажівок, безпілотних логістичних комплексів, вантажних дронів (особливо на етапі «останньої милі») та систем штучного інтелекту для предиктивного менеджменту є безальтернативним вектором цифрової трансформації транспорту.

#### 3.1 Автономні вантажівки та безпілотні логістичні комплекси

*Автономні вантажівки* – це транспортні засоби, які здатні рухатися без участі водія завдяки поєднанню сенсорів, камер, GPS, лідарів та алгоритмів штучного інтелекту. Їх використовують для міжміських перевезень, а також усередині логістичних хабів і терміналів.

Ключові компоненти:

1. Лідари, радары та камери для сприйняття простору.
2. AI-алгоритми для прийняття рішень на дорозі.
3. Системи навігації та GPS для побудови маршрутів.
4. Інтеграція з TMS (Transport Management Systems).

Автономні вантажівки оснащені різноманітними сенсорами та камерами, які забезпечують їм можливість отримувати інформацію про навколишнє середовище. Лідари, радары та ультразвукові сенсори допомагають виявляти об'єкти на дорозі та визначати їхню відстань. Камери високої роздільної здатності дозволяють вантажівкам бачити дорожню розмітку, знаки та інші важливі елементи інфраструктури.

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання є ключовими елементами у розвитку автономних транспортних засобів. Вони дозволяють вантажівкам аналізувати великі обсяги даних у реальному часі та приймати оптимальні

рішення під час руху. Завдяки цим технологіям, автономні вантажівки можуть розпізнавати дорожні знаки, об'єкти на дорозі та інші транспортні засоби, а також адаптуватися до різних умов руху.

Системи навігації та GPS забезпечують автономним вантажівкам можливість орієнтуватися в просторі та будувати оптимальні маршрути. За допомогою супутникових сигналів транспортний засіб визначає своє місцеперебування, а навігаційні алгоритми аналізують дорожню обстановку, враховують затори, погодні умови та інші фактори, щоб обрати найбезпечніший і найефективніший шлях.

Інтеграція з TMS (системами управління перевезеннями) дозволяє автономним вантажівкам автоматично отримувати інформацію про вантажі, графіки доставки та маршрути. Це забезпечує узгоджену роботу з логістичними платформами, спрощує координацію, дозволяє ефективно розподіляти ресурси та реагувати на зміни в реальному часі.

**TMS (Transport Management System)** – це система управління перевезеннями, яка використовується логістичними компаніями для планування, виконання та моніторингу вантажних перевезень. Вона дозволяє автоматизувати процеси розподілу вантажів, вибору маршрутів, контролю виконання доставки, обліку документів і взаємодії з водіями. Завдяки TMS компанії можуть підвищити ефективність логістичних операцій, зменшити витрати та покращити якість обслуговування клієнтів.

#### **Приклади використання TMS:**

Одна з найбільших логістичних компаній у світі **Dalsey, Hillblom and Lynn** (**DHL** німецька міжнародна компанія експрес-доставки вантажів і документів) використовує власну TMS для управління мільйонами доставок щодня. Система автоматично планує маршрути, аналізує вантажопотік та координує дії водіїв у режимі реального часу.

**FedEx та UPS** використовують TMS для оптимізації доставки «останньої милі». Їхні системи враховують трафік, погоду, пріоритети відправлень і обирають найкоротший маршрут для кожного водія.

**Amazon** розробив свою TMS-систему, яка інтегрується з усією інфраструктурою: складами, дронами, вантажівками та автономними роботами. Вона дозволяє миттєво призначати транспорт на замовлення, мінімізувати час доставки та керувати логістикою в глобальному масштабі.

**Maersk** (морські перевезення) застосовує TMS для планування логістики від порту до складу. Це включає контейнерні перевезення, залізницю та автомобільний транспорт.

В Україні багато компаній також використовують TMS — наприклад, «**Нова пошта**», **Rozetka**, великі дистриб'ютори, мережі супермаркетів. Вони застосовують готові TMS-рішення (наприклад, **SAP, Oracle, Ant-Logistics**) або розробляють власні системи.

Для ефективної роботи автономних вантажівок необхідні надійні системи зв'язку. Вони дозволяють транспортним засобам обмінюватися даними з іншими автомобілями, інфраструктурою та центрами управління. Використання технологій V2V (vehicle-to-vehicle) та V2I (vehicle-to-infrastructure) підвищує безпеку та ефективність руху.

Впровадження автономних вантажівок у логістику та вантажоперевезення обіцяє численні переваги, які можуть кардинально змінити галузь.

Автономні вантажівки мають потенціал *значно знизити витрати на перевезення*. Одним із найбільших джерел економії є зменшення потреби у водіях. Зараз витрати на заробітну плату водіїв складають значну частину бюджету транспортних компаній. Крім того, автономні вантажівки можуть працювати безперервно, що дозволяє скоротити час простою та підвищити ефективність використання транспортних засобів.

*Безпека на дорогах* є одним із головних пріоритетів для розвитку автономних транспортних засобів. Завдяки використанню сенсорів, ШІ та систем зв'язку, автономні вантажівки можуть миттєво реагувати на небезпечні ситуації та уникати аварій. Вони не схильні до втоми, що є однією з головних причин аварій за участю людських водіїв. Крім того, вони можуть дотримуватися оптимальної швидкості та дистанції, що знижує ризик зіткнень.

Автономні вантажівки можуть значно оптимізувати логістичні процеси. Вони можуть працювати в режимі конвою, де кілька вантажівок рухаються на малій відстані одна від одної, що знижує аеродинамічний опір та економить паливо. Крім того, завдяки системам зв'язку автономні вантажівки можуть отримувати дані про дорожні умови та об'їзди у реальному часі, що дозволяє обирати найоптимальніші маршрути.

Незважаючи на численні переваги, впровадження автономних вантажівок стикається з рядом серйозних викликів.

**Технічні виклики.** Розробка автономних вантажівок вимагає високого рівня технічної складності. Забезпечення безпеки та надійності роботи систем ШІ, сенсорів та зв'язку є важливим завданням. Крім того, необхідно враховувати можливість збоїв у роботі технічних систем та розробляти резервні рішення.

**Регуляторні та правові питання.** Регулювання автономних транспортних засобів є ще одним важливим викликом. У багатьох країнах законодавча база не встигає за швидким розвитком технологій. Виникають питання щодо відповідальності у випадку аварій, ліцензування автономних транспортних засобів та їхнього страхування.

**Соціальні виклики.** Впровадження автономних вантажівок також має соціальні наслідки. Одним із найбільших викликів є скорочення робочих місць для водіїв вантажівок. Це може призвести до соціальної напруги та вимагати створення програм перекваліфікації для звільнених працівників.

Незважаючи на виклики, перспективи розвитку автономних вантажівок є дуже обнадійливими. Протягом найближчих десятиліть можна очікувати значного прогресу у цій галузі.

**Подальше вдосконалення технологій.** Технології, що використовуються в автономних вантажівках, продовжуватимуть розвиватися. Штучний інтелект стане ще більш потужним, сенсори – більш точними, а системи зв'язку – більш надійними. Це дозволить підвищити безпеку та ефективність автономних транспортних засобів.

**Масове впровадження.** З часом автономні вантажівки стануть масово використовуватися в логістиці. Це призведе до значних змін у структурі транспортних компаній та логістичних мереж. Компанії зможуть скорочувати витрати та підвищувати ефективність своїх операцій.

**Нові бізнес-моделі.** Впровадження автономних вантажівок сприятиме появі нових бізнес-моделей. Наприклад, можливо виникнуть компанії, що спеціалізуються на наданні послуг з управління автономними транспортними засобами або створенні інфраструктури для їхньої підтримки.

**Безпілотні логістичні комплекси** – це інноваційні об’єкти транспортної інфраструктури, у яких більшість логістичних операцій виконується автоматизованими системами без участі людини або з мінімальним втручанням. Такі комплекси інтегрують **AGV** (Automated Guided Vehicles), роботизовані крани, автоматичні конвеєрні системи, дрони для внутрішньої доставки, системи розпізнавання вантажів (наприклад, через RFID або QR-коди) та центри обробки даних, керовані штучним інтелектом.

**Безпілотні логістичні комплекси** – це сучасна форма автоматизованих логістичних центрів, у яких переміщення вантажів, навантаження/розвантаження, сортування та взаємодія з транспортом здійснюються без участі людини – за допомогою AGV, роботів, дронів і систем ШІ. У зарубіжній термінології аналогічні об’єкти називаються *robotic fulfillment centers* (роботизовані фулфілмент-центри), *automated logistics hubs* (автоматизовані логістичні хаби), *smart warehouses* (розумні склади) або *unmanned logistics systems*.

Основні компоненти безпілотного логістичного комплексу:

1. AGV-платформи – безпілотні мобільні візки, які рухаються за заданими маршрутами або навігаційними мітками для перевезення вантажів між зонами складу.

2. Роботизовані крани та маніпулятори – здійснюють автоматизоване навантаження, розвантаження, штабелювання або сортування вантажів.

3. Конвеєрні системи – транспортують товари по вертикалі чи горизонталі без зупинок, що значно прискорює обробку замовлень.

4. Автоматичні системи зберігання (AS/RS) – розумні стелажі, що самостійно видають потрібний товар.

5. Цифрові логістичні платформи – забезпечують управління всіма етапами обробки вантажів, інтегровані з TMS, ERP та WMS.

Приклади застосування:

Amazon Robotics – використовує тисячі AGV для автоматичної доставки стелажів до робочих станцій пакування.

Alibaba Cainiao – автоматизовані логістичні центри в Китаї, де замовлення сортуються та упаковуються повністю без участі людини.

Ocado (Велика Британія) – мережа складів з AGV, які їздять по сітці-решітці й збирають замовлення з продуктами за лічені хвилини.

Переваги безпілотних логістичних комплексів:

– швидкість і безперервність роботи – системи можуть працювати 24/7 без перерв;

– мінімізація людських помилок – точність і надійність підвищуються завдяки автоматизації;

– оптимальне використання простору – автоматизовані системи зберігання дозволяють значно зменшити площу, потрібну для складу;

– зниження витрат – економія на персоналі та прискорення обробки замовлень знижує логістичні витрати;

– ідеальна інтеграція з автономними вантажівками та дронами – формування повністю автономного логістичного ланцюга.

Автономні вантажівки та безпілотні логістичні комплекси є важливим етапом розвитку смарт-логістики. Вони поєднують передові технології – сенсори, штучний інтелект, GPS, TMS та системи зв'язку – для забезпечення безпечного, ефективного та безперервного перевезення вантажів. Попри технічні, правові та соціальні виклики, автономні транспортні засоби мають потужний потенціал трансформувати галузь логістики, зменшити витрати,

підвищити безпеку та створити нові можливості для бізнесу в найближчому майбутньому.

### 3.2 Дрони для доставки вантажів

*Дрони* – це безпілотні літальні апарати, які все активніше використовуються в логістиці для швидкої доставки вантажів, особливо у важкодоступні райони або перевантажені міські зони. Однією з головних переваг дронів є здатність здійснювати оперативну доставку на «останній милі» – тобто від пункту видачі до кінцевого споживача. Вони дозволяють мінімізувати затримки, пов'язані із заторами в мегаполісах, та забезпечують контроль умов перевезення чутливих вантажів, наприклад медикаментів, завдяки наявності спеціальних сенсорів для контролю температури, вологості та вібрацій. Це особливо важливо для доставки медичних препаратів, крові або органів для трансплантації.

Дрони оснащені системами автономної навігації на основі GPS, а також сенсорами, які дозволяють орієнтуватися в просторі та уникати перешкод. Алгоритми штучного інтелекту забезпечують розпізнавання об'єктів та побудову безпечного маршруту в режимі реального часу. Дрони можуть бути інтегровані з логістичними платформами, такими як Amazon Prime Air, що дозволяє автоматично приймати замовлення, обирати маршрут і координувати час доставки.

У світі вже існує низка успішних прикладів застосування дронів у логістиці. Наприклад, **Amazon Prime Air** здійснює доставку легких товарів у межах 30 хвилин. **Zipline** в Африці забезпечує транспортування крові та медикаментів у віддалені райони, скорочуючи час доставки з кількох годин до кількох хвилин. **Wing** (підрозділ Google) експериментує з дрон-коридорами у містах, створюючи безпечні повітряні маршрути для безпілотних доставок.

Однак широке впровадження дронів стикається з низкою викликів. По-перше, це обмежена вантажопідйомність – більшість дронів здатні перевозити лише 2–5 кг. По-друге, вони залежать від погодних умов: сильний вітер, дощ або сніг можуть зупинити роботу дронів. По-третє, у багатьох країнах існують

регуляторні обмеження на польоти дронів у межах міста, поблизу аеропортів чи над житловими будинками. Також дрони мають обмежений радіус дії, що ускладнює їх використання на великих відстанях.

Попри це, перспективи розвитку технології надзвичайно потужні. Зокрема, ведуться розробки дронів з гібридними системами польоту (типу VTOL), які поєднують вертикальний зліт та горизонтальний політ для збільшення дальності та ефективності. Також з'являються перші приклади використання сонячної енергії та водню для живлення дронів. В майбутньому планується створення «дрон-портів» – спеціальних платформ для посадки, зарядки та логістичної обробки вантажів, що інтегруються в міську інфраструктуру.

В Україні теж є приклади використання дронів у логістиці. Деякі стартапи та поштові компанії експериментують із доставкою товарів у сільську місцевість, а під час війни дрони застосовувались для екстреної доставки медикаментів у прифронтові зони. Вітчизняні науково-дослідні установи, зокрема КПІ та Харківський авіаційний інститут, працюють над створенням власних моделей вантажних дронів.

Отже, дрони для доставки вантажів є перспективною складовою смарт-логістики. Вони дозволяють скоротити час доставки, уникати заторів і ефективно обслуговувати віддалені або перевантажені райони. Хоча існують певні обмеження технічного та регуляторного характеру, розвиток технологій та зростання попиту на швидку доставку сприятимуть широкому впровадженню дронів у логістичні процеси майбутнього.

### **3.3 Використання ШІ для управління автопарками**

Штучний інтелект (ШІ) відіграє дедалі важливішу роль в управлінні автопарками, допомагаючи логістичним компаніям оптимізувати використання транспорту, знизити витрати та підвищити ефективність перевезень. На відміну від традиційного диспетчерського підходу, де рішення приймаються вручну, системи на базі ШІ працюють з великими обсягами даних у режимі реального часу та здатні швидко реагувати на зміни умов, обираючи найкращі варіанти дій.

ШІ дозволяє аналізувати маршрути доставки з урахуванням трафіку, погодних умов, стану доріг та графіку завантаження, автоматично пропонуючи найбільш ефективні варіанти пересування. Це особливо важливо для великих автопарків, де кількість транспортних одиниць може сягати сотень або тисяч. Крім того, алгоритми ШІ здатні виявляти неочевидні закономірності, які можуть бути пропущені людиною, і таким чином забезпечують вищу точність планування.

Однією з ключових функцій штучного інтелекту в автопарках є **прогнозне технічне обслуговування (*predictive maintenance*)**. Завдяки сенсорам і IoT-рішенням, система відстежує стан вузлів і агрегатів транспортних засобів, прогнозує можливі поломки ще до їх виникнення та формує графік обслуговування. Це знижує ризик раптових зупинок, подовжує термін служби техніки та зменшує витрати на ремонти.

ШІ також використовується для **аналізу поведінки водіїв**, включаючи стиль керування, частоту різких гальмувань, витрати пального, тривалість зупинок. Це дає змогу не лише підвищити безпеку на дорозі, а й покращити показники ефективності використання транспорту. Деякі системи навіть пропонують **рейтинги водіїв**, на основі яких можна приймати рішення щодо навчання або заохочення персоналу.

Крім того, штучний інтелект інтегрується з **TMS (Transport Management Systems) та WMS (Warehouse Management Systems)**, забезпечуючи узгодженість між маршрутами доставки, графіками завантаження складів і рівнем наявних запасів. Це дає змогу уникати простоїв транспорту, затримок доставки та неефективного використання ресурсів.

У практиці відомих компаній ШІ вже застосовується досить активно. Наприклад, **UPS** використовує систему на базі AI для оптимізації маршрутів своїх кур'єрів — вона навіть уникає поворотів ліворуч, щоб мінімізувати затримки. Компанія **DHL** застосовує розумні аналітичні платформи для прогнозування ремонтів і формування графіків ТО, а **Geotab та Fleet Complete**

пропонують рішення для моніторингу автопарків у режимі реального часу з аналітикою на основі ШІ.

Таким чином, використання штучного інтелекту в управлінні автопарками відкриває нові можливості для автоматизації, зниження витрат і підвищення операційної ефективності. У контексті розвитку смарт-логістики це не просто модна технологія, а ключовий інструмент для підтримки сучасних перевезень, адаптованих до динамічного ринку та нових викликів.

### **Контрольні питання:**

1. За рахунок якого технологічного комплексу сенсорів автономна вантажівка орієнтується в просторі, і які саме функції виконують лідари на відміну від камер високої роздільної здатності?

2. Опишіть суть та практичне значення технологій зв'язку V2V (vehicle-to-vehicle) та V2I (vehicle-to-infrastructure) для безпеки руху автономного транспорту.

3. Яку роль відіграє інтеграція TMS (системи управління перевезення) з внутрішніми системами автономного складу (AGV-платформами, роботами-маніпуляторами)? Які переваги це дає логістичному ланцюгу?

4. Які ключові технічні, регуляторно-правові та соціальні обмеження наразі стримують масове комерційне використання вантажних дронів і безпілотних вантажівок у містах?

5. Що таке прогнозне технічне обслуговування (predictive maintenance) на базі ШІ в управлінні автопарком, і яким чином воно реалізується через IoT-рішення?

## ТЕМА 4.

# СМАРТ-ЛОГІСТИКА ТА ЦИФРОВІ ПЛАТФОРМИ У ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Цифрова трансформація транспортно-логістичного сектору є провідним трендом сучасної глобальної економіки. Актуальність інтеграції смарт-логістики та цифрових платформ зумовлена необхідністю підвищення операційної стійкості, прозорості та гнучкості ланцюгів постачання в умовах високої ринкової невизначеності.

Впровадження систем GPS-моніторингу й телематики перетворює класичний транспорт на елемент Інтернету речей (IoT), що дозволяє не просто пасивно спостерігати за геопозицією, а здійснювати проактивний предиктивний контроль (наприклад, управління холодним ланцюгом для медикаментів). Своєю чергою, синергія Big Data та штучного інтелекту вирішує хронічну проблему логістики - неефективність маршрутів та непередбачуваність трафіку, трансформуючи сирі масиви даних у точні прогностичні моделі попиту та транспортних потоків. Нарешті, автоматизація складських комплексів (AS/RS, AGV) за допомогою систем WMS усуває «слабкі місця» на етапі сортування та комплектування, мінімізуючи людський фактор і забезпечуючи безперервний цикл роботи.

### **4.1 GPS-моніторинг та контроль вантажів у реальному часі**

Одним із ключових компонентів смарт-логістики є можливість відстеження транспорту та вантажів у реальному часі. Це забезпечується завдяки впровадженню систем глобального позиціонування – GPS-моніторингу.

*GPS-моніторинг* (Global Positioning System) дозволяє фіксувати місцеперебування транспортних засобів і вантажів у будь-який момент часу за допомогою супутникових технологій. Інформація передається на центральний сервер або в хмарну систему обробки даних, де вона аналізується і візуалізується для користувача.

Системи GPS-моніторингу стали незамінним інструментом для транспортних і логістичних компаній, оскільки дозволяють:

- контролювати маршрут транспорту і своєчасно виявляти відхилення від заданого шляху;
- оцінювати час прибуття транспортних засобів до пункту призначення;
- оперативно реагувати на непередбачувані ситуації на маршруті (затори, аварії, погодні умови);
- підвищувати безпеку перевезень завдяки можливості контролювати швидкість руху та поведінку водіїв;
- забезпечувати прозорість для клієнтів — деякі системи дозволяють надавати замовникам доступ до інформації про місцеперебування їхнього вантажу.

Раніше для контролю вантажів використовували ручні способи: дзвінки водіям, паперові звіти про маршрути або періодичні радіозвіти. Сьогодні ці методи поступово витісняються інтегрованими платформами GPS-моніторингу, які забезпечують реальний час спостереження за кожним етапом перевезення.

Технічна основа GPS-моніторингу включає:

- супутниковий модуль (GPS/GLONASS/Galileo);
- телематичний пристрій на транспортному засобі;
- серверну або хмарну інфраструктуру для збору та обробки даних;
- програмне забезпечення для візуалізації маршрутів і аналітики.

Сучасні системи моніторингу не обмежуються лише визначенням координат транспорту. Вони також дають можливість:

- фіксувати температуру всередині рефрижераторних фургонів (важливо для перевезення харчових продуктів і медикаментів);
- відслідковувати відкривання дверей вантажних відсіків;
- контролювати навантаження на вісь і масу транспортного засобу;
- надсилати автоматичні сповіщення у разі порушення встановлених умов перевезення.

Важливою функцією є також геозонування — встановлення віртуальних меж на карті, при перетині яких система автоматично сповіщає оператора або

клієнта. Наприклад, це може бути контроль в'їзду на територію складу або вихід за межі маршруту.

Приклади використання GPS-моніторингу в логістиці демонструють широкі можливості цієї технології в сучасних перевезеннях. Так, компанія **Nova Poshta** активно застосовує GPS-системи для контролю доставки посилок у межах України, що дозволяє клієнтам відстежувати рух свого відправлення в реальному часі через спеціальні сервіси. Міжнародна логістична компанія **DHL** впровадила телематичні рішення для моніторингу своїх вантажів на глобальному рівні, що дозволяє забезпечувати безперервний контроль над доставкою та оперативно реагувати на будь-які зміни. У сфері мультимодальних перевезень компанія **Maersk** інтегрує GPS-моніторинг у морські контейнери, що дає можливість відстежувати вантажі на всіх етапах транспортування — від порту відправлення до кінцевого складу.

Впровадження GPS-моніторингу в логістичні процеси має низку суттєвих переваг. Завдяки постійному контролю за рухом вантажів вдається значно скоротити затримки у доставці, оскільки система дозволяє оперативно реагувати на зміни дорожньої обстановки та уникати простоїв. Використання GPS-технологій також сприяє зменшенню витрат на логістичні операції за рахунок оптимізації маршрутів, зниження витрат на паливо та ефективнішого планування завантаження транспорту. Підвищується і загальний рівень безпеки перевезень, оскільки GPS-моніторинг дозволяє контролювати дотримання швидкісного режиму, фіксувати порушення та попереджати аварійні ситуації. Одночасно відбувається оптимізація використання автопарку: системи допомагають краще розподіляти транспортні ресурси та уникати простоїв. Важливою перевагою є також покращення клієнтського досвіду завдяки прозорості перевезення — замовники отримують можливість самостійно відстежувати місцезнаходження своїх вантажів, що підвищує довіру до логістичних компаній.

Переваги впровадження GPS-моніторингу:

- скорочення затримок у доставці;
- зменшення витрат на логістичні операції;

- підвищення рівня безпеки;
- оптимізація використання автопарку;
- покращення клієнтського досвіду за рахунок прозорості перевезення.

**Виклики та обмеження:** Попри численні переваги, GPS-моніторинг має і певні обмеження. До них належать залежність від якості супутникового сигналу, можливі перебої в роботі у важких погодних умовах або в густій міській забудові (наприклад, у щільних районах з хмарочосами). Також важливим залишається питання захисту даних — щоб уникнути несанкціонованого доступу до інформації про рух вантажів, потрібні надійні системи кібербезпеки.

#### **4.2 Big Data та прогнозування транспортних потоків**

У сучасній смарт-логістиці технології Big Data відіграють ключову роль. Вони дають можливість приймати обґрунтовані рішення на основі великого обсягу даних, що надходять у режимі реального часу з різних джерел.

Big Data у транспортній галузі – це збір, обробка та аналіз даних з GPS-трекерів, дорожніх сенсорів, метеорологічних сервісів, мобільних додатків і систем моніторингу інфраструктури.

Завдяки використанню великих даних логістичні компанії можуть аналізувати поведінку транспортних потоків, виявляти закономірності та прогнозувати зміни у русі транспорту і попиті на перевезення.

Одним із напрямів застосування Big Data є прогнозування заторів і аварійних ситуацій. Аналізуючи дані про рух транспорту, дорожню інфраструктуру та погодні умови, системи здатні передбачити можливі ускладнення на маршруті й запропонувати альтернативні шляхи.

Big Data також активно використовується для оптимізації маршрутів доставки. Системи аналізують ситуацію на дорогах у реальному часі та допомагають обирати найбільш ефективні маршрути з урахуванням трафіку та погодних умов.

Ще одним важливим застосуванням є прогнозування попиту на перевезення. На основі сезонних коливань, святкових періодів і великих подій

компанії можуть планувати кількість транспорту, необхідного для забезпечення стабільної доставки.

Big Data допомагає оцінювати ефективність перевезень. Системи аналізують час доставки, середню швидкість руху, витрати пального та виявляють неефективні процеси.

Важливу роль у роботі з великими даними відіграє штучний інтелект. Алгоритми машинного навчання аналізують інформацію, виявляють приховані залежності й створюють прогностичні моделі для підвищення точності планування.

Приклади використання Big Data в логістиці включають платформи **Google Traffic**, які аналізують дані мільйонів користувачів для створення карти заторів у реальному часі, а також системи **HERE Technologies** для передбачення навантаження на дороги.

Логістичні компанії, такі як **UPS** і **Amazon**, використовують власні аналітичні платформи для планування маршрутів з урахуванням погодних умов, часу доби та статистичних даних про затори.

Попри численні переваги, використання Big Data має певні виклики. Обробка та зберігання великого обсягу інформації потребують потужної технічної інфраструктури та спеціалізованого програмного забезпечення.

Також важливим залишається питання захисту персональних даних. Дані про маршрути, місцеперебування та поведінку користувачів можуть бути чутливими, тому необхідно забезпечувати високий рівень кібербезпеки.

У майбутньому роль Big Data в логістиці продовжить зростати. З розвитком технологій Інтернету речей (IoT), автономних транспортних засобів і мереж 5G обсяги даних будуть ще більшими, а аналітичні системи – ще точнішими.

Інтеграція Big Data з іншими елементами смарт-логістики дозволить створювати самонавчальні логістичні мережі, здатні адаптуватися до змінних умов без втручання людини.

### 4.3 Автоматизація складів та розподільчих центрів

Автоматизація складів та розподільчих центрів є важливою складовою розвитку сучасної логістики. Вона передбачає впровадження технологій, які спрощують, прискорюють і оптимізують процеси обробки вантажів.

Під автоматизацією розуміють використання технічних засобів, програмного забезпечення та роботизованих систем для виконання завдань, які раніше вимагали ручної праці.

Основні напрямки автоматизації включають:

- сортування вантажів;
- транспортування товарів всередині складу;
- зберігання і пошук одиниць продукції;
- підготовку товарів до відправлення.

Одним із найпоширеніших елементів автоматизації є конвеєрні системи.

Вони транспортують вантажі між різними зонами складу, знижуючи потребу у ручному перенесенні товарів та скорочуючи час обробки замовлень.

Широко використовуються автоматичні системи зберігання та видачі товарів (AS/RS – Automated Storage and Retrieval Systems). Вони дозволяють зберігати товари у багатоповерхових стелажах і автоматично подавати їх оператору на вимогу.

Іншим важливим напрямом є використання мобільних роботів (AGV – Automated Guided Vehicles). Вони переміщують палети або окремі вантажі між зонами складу без участі людини.

Управління всіма процесами на складі забезпечують спеціальні системи WMS (Warehouse Management Systems). Вони відстежують розташування товарів, облік залишків, оптимізують маршрути руху роботів і допомагають планувати завантаження та вивантаження.

Переваги автоматизації складів і розподільчих центрів включають:

- прискорення обробки замовлень;
- підвищення точності комплектування товарів;
- зниження витрат на персонал;

- оптимальне використання простору складу;
- можливість роботи у форматі 24/7 без перерв.

Приклади застосування автоматизації на практиці демонструють її ефективність. Наприклад, компанія Amazon використовує тисячі мобільних роботів для переміщення стелажів із товарами до працівників. У мережі складів Ocado у Великій Британії замовлення формуються за допомогою AGV, які рухаються по спеціальних сітках над контейнерами.

В Україні також зростає інтерес до автоматизації складів. Деякі логістичні компанії впроваджують автоматизовані сортувальні лінії, конвеєрні системи та елементи роботизації на складах, орієнтуючись на західні практики.

Важливо зазначити, що повна автоматизація потребує значних інвестицій. Тому на практиці часто впроваджуються комбіновані рішення, де автоматизовані системи працюють разом із персоналом. У майбутньому рівень автоматизації логістичних об'єктів продовжить зростати. Це дозволить підвищити ефективність обробки вантажів, скоротити витрати і забезпечити більшу гнучкість логістичних процесів у відповідь на змінні умови ринку.

#### **Контрольні питання:**

1. Які додаткові параметри вантажу та транспорту, окрім географічних координат, здатні контролювати сучасні системи GPS-моніторингу?
2. Що таке «геозонування» в контексті смарт-логістики та яка його практична функція?
3. Які саме первинні джерела формують масиви Big Data, що використовуються для аналізу й прогнозування транспортних потоків?
4. Завдяки яким технологічним рішенням алгоритми машинного навчання (ШІ) допомагають оптимізувати роботу з великими даними в логістиці?
5. У чому полягає різниця між автоматизованими системами зберігання (AS/RS) та мобільними роботами (AGV) на сучасних складах?

## ТЕМА 5.

### ЕЛЕКТРОМОБІЛЬНІСТЬ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕННЯХ

Тренд на декарбонізацію економіки та жорсткіші екологічні стандарти (зокрема, концепція Zero-Emission) змушують транспортний сектор відмовлятися від традиційного дизельного палива. Актуальність впровадження електромобільності та водневих технологій у вантажних перевезеннях зумовлена необхідністю радикального зниження викидів CO<sub>2</sub> та мінімізації операційних витрат підприємств.

Перехід на акумуляторні (BEV) та водневі (FCEV) вантажівки трансформує класичну логістику в інтегровану екологічну систему. Проте цей перехід неможливий без створення нової технологічної інфраструктури. Формування «зелених» логістичних маршрутів за допомогою геофенсингу та макроаналітики великих даних дозволяє компаніям ефективно обходити міські зони з обмеженням викидів, раціонально розподіляючи транспортні потоки між міською дистрибуцією (де панують електромобілі) та магістральними перевезеннями (де перспективним є водень). Особливого науково-практичного значення набуває інтеграція логістичних хабів із розумними енергомережами (Smart Grids) та відновлюваними джерелами енергії. Це перетворює великі термінали з пасивних споживачів на локальні енергетичні кластери, здатні накопичувати енергію, заряджати флот за мінімальними нічними тарифами та нівелювати пікові навантаження на локальні мережі.

#### **5.1 Використання електровантажівок та водневого транспорту**

У сучасних умовах переходу до сталого розвитку транспортна галузь дедалі більше інтегрує екологічно чисті технології, зокрема електромобільність та водневі силові установки. Одним із ключових напрямів у цій сфері є впровадження електровантажівок, які працюють на акумуляторних батареях, що живляться електроенергією. Такі транспортні засоби дозволяють знизити викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, а також мають нижчі експлуатаційні витрати у порівнянні з дизельними аналогами. Крім того,

електричні вантажівки потребують меншого технічного обслуговування завдяки меншій кількості рухомих частин у їх силовій установці. Електромобілі особливо ефективні для міських доставок, де пробіги на день не перевищують 150–300 км.

Серед популярних моделей електровантажівок можна відзначити Tesla Semi, що має запас ходу до 800 км, Volvo FH Electric та MAN eTruck. Незважаючи на значний технічний прогрес, електровантажівки поки що мають обмеження, пов'язані з високою вартістю придбання, відносно тривалим часом заряджання та обмеженим запасом ходу при повному навантаженні.

Водночас перспективним напрямом у вантажоперевезеннях є використання водневих паливних елементів.

Водневі вантажівки генерують електроенергію безпосередньо на борту транспортного засобу шляхом хімічної реакції водню з киснем, викидаючи в атмосферу лише водяну пару. Основною перевагою цього виду транспорту є швидке заправлення (від 5 до 10 хвилин) та значна автономність (до 1000 км). Водневі вантажівки, зокрема Hyundai XCIENT Fuel Cell, Toyota Hino та Nikola Motors, стають альтернативою для міжміських і трансконтинентальних перевезень.

Проте розвиток водневого транспорту стримується через недостатньо розвинену інфраструктуру для заправки, а також високу вартість виробництва «зеленого» водню. На сьогодні в більшості країн основна частка водню все ще отримується з викопного палива, що суперечить концепції екологічної сталості. Саме тому розвиток електро- та водневих вантажівок потребує комплексного підходу, що поєднує технічні інновації, інфраструктурні рішення та державну підтримку.

## **5.2 Інфраструктура зарядних станцій та «зелені» логістичні маршрути**

Ефективне використання електричних та водневих вантажних автомобілів напряму залежить від наявності відповідної інфраструктури. Для електротранспорту ключову роль відіграють зарядні станції, які можуть бути як змінного струму (повільна зарядка), так і постійного (швидка зарядка). В умовах вантажних перевезень особливо актуальним є створення потужних зарядних

терміналів на логістичних центрах, хабах та вздовж основних транспортних коридорів. Також розвиваються мобільні зарядні рішення, які можуть переміщуватись разом із вантажами або використовуватись у випадках аварійного розряду.

Проблемою залишається забезпечення достатньої електричної потужності на місцях для зарядки великовантажного транспорту, особливо при одночасному підключенні декількох електровантажівок. Це вимагає модернізації електричних мереж, використання накопичувачів енергії та застосування інтелектуальних систем керування навантаженням.

Окремим напрямом розвитку стало формування так званих «зелених» логістичних маршрутів. Йдеться про спеціально спроектовані або адаптовані транспортні коридори, які враховують наявність зарядної інфраструктури, екологічні зони з обмеженням на викиди та оптимальні дорожні умови для зниження енергоспоживання. При плануванні таких маршрутів активно використовуються сучасні технології — зокрема геоаналітика, великі дані та телематичні системи. Геофенсинг дозволяє автоматично адаптувати поведінку транспортного засобу при в'їзді до зони з екологічними обмеженнями. Системи навігації, що поєднуються з інформацією про трафік у реальному часі, дозволяють уникати заторів, що знижує витрати енергії та покращує дотримання графіків доставки.

Таким чином, розбудова інфраструктури зарядки і впровадження «зелених» маршрутів є необхідною умовою масштабного переходу до електро- і водневих перевезень у вантажній логістиці.

### **5.3 Енергетичні смарт-мережі для оптимізації витрат пального**

Однією з інновацій, що забезпечує підвищення ефективності енергоспоживання у вантажних перевезеннях, є використання енергетичних смарт-мереж. Смарт-мережі (smart grids) — це інтелектуальні системи управління електроенергією, що поєднують інформаційні технології, Інтернет речей (IoT), аналітику великих даних і автоматизацію для ефективного балансу між виробництвом, розподілом і споживанням енергії.

У контексті вантажної логістики енергетичні смарт-мережі дозволяють розподіляти навантаження між зарядними станціями залежно від часу доби, тарифів та доступної потужності. Наприклад, у нічні години, коли навантаження на мережу мінімальне, системи можуть автоматично спрямовувати зарядку електровантажівок, знижуючи вартість енергії для оператора. Також застосовується інтеграція з відновлюваними джерелами енергії — такими як сонячні батареї чи вітрові електростанції — що дозволяє створювати локальні енергетичні кластери на базі логістичних хабів.

Крім того, смарт-мережі здатні прогнозувати пікові навантаження, попереджати перевантаження систем і оптимізувати роботу зарядної інфраструктури. Використання таких рішень сприяє зменшенню втрат енергії, підвищенню ефективності експлуатації транспорту та забезпеченню більшої стабільності в роботі транспортної мережі. Загалом, енергетичні смарт-мережі є необхідним компонентом екосистеми «розумних» логістичних рішень, що поєднують екологічність, ефективність і цифрову трансформацію галузі.

#### **Контрольні питання:**

1. Для яких саме типів перевезень та якої щоденної дистанції найефективнішими є вантажівки, що працюють на акумуляторних батареях?
2. Який екологічний та хімічний процес відбувається на борту водневої вантажівки для генерації енергії, і що є єдиним викидом в атмосферу?
3. У чому полягають головні стримувальні фактори та інфраструктурні обмеження для масштабного впровадження водневого транспорту?
4. Які цифрові технології використовуються для проєктування «зелених» логістичних маршрутів і керування поведінкою транспорту при в'їзді в екологічні зони?
5. Яким чином енергетичні смарт-мережі (Smart Grids) допомагають логістичним компаніям знижувати фінансові витрати на зарядку електротранспорту?

## ТЕМА 6.

### ТЕХНОЛОГІЇ V2X ТА ЗВ'ЯЗКУ У СМАРТ-ЛОГІСТИЦІ

Розвиток індустрії 4.0 та 5.0 трансформує вантажний транспорт із ізольованих механічних одиниць у високоінтегровані вузли єдиної інформаційної екосистеми. Впровадження технологій V2X (Vehicle-to-Everything) та надшвидкісного зв'язку 5G у вантажних перевезеннях зумовлена переходом до повного автономного керування (безпілотних флотів) та концепції «нульової затримки» (Zero-Latency) в управлінні ланцюгами постачання.

Технологічна синергія V2X та архітектури мобільних мереж 5G вирішує фундаментальне завдання логістики - створення середовища з предиктивною безпекою. Координація моделей V2V та V2I дозволяє реалізувати технологію платунінгу (руху автономних вантажних автоколон із мінімальною дистанцією), що оптимізує аеродинаміку та знижує енерговитрати. Наднизька латентність 5G вперше робить можливим розгортання «цифрових двійників» (Digital Twins) логістичних хабів у реальному часі, де робототехніка, дрони та крани діють як єдиний синхронізований організм.

Проте така тотальна цифровізація критично підвищує вразливість галузі до специфічних кіберзагроз (від GPS-спуфінгу до перехоплення керування безпілотниками за допомогою MITM-атак). Це актуалізує розробку нових криптографічних протоколів та децентралізованих архітектур захисту даних. Таким чином, дослідження мережевої взаємодії та кіберстійкості у смарт-логістиці є стратегічним фундаментом для побудови безпечного та повністю автономного транспортного простору майбутнього.

#### **6.1 Vehicle-to-Everything (V2X) у вантажних перевезеннях**

Сучасна логістика дедалі більше інтегрує технології взаємодії транспортних засобів з навколишнім середовищем — так звану V2X (Vehicle-to-Everything). Ця концепція охоплює низку комунікаційних моделей, зокрема Vehicle-to-Vehicle (V2V), Vehicle-to-Infrastructure (V2I), Vehicle-to-Pedestrian (V2P) та Vehicle-to-Network (V2N). У сфері вантажних перевезень впровадження V2X дозволяє створювати інтегровані транспортні системи, де вантажівки

можуть обмінюватися даними між собою, із дорожньою інфраструктурою, диспетчерськими системами та хмарними платформами.

Технологія V2X забезпечує низку функціональних переваг. Завдяки обміну інформацією між транспортними засобами можливе попередження про аварійні ситуації, небезпечні погодні умови чи перешкоди на дорозі ще до того, як вони потраплять у зону прямої видимості. Це значно підвищує безпеку руху та знижує ризик ДТП. У логістиці V2X дозволяє здійснювати динамічне планування маршрутів з урахуванням заторів, дорожніх робіт або обмежень, а також автоматично координувати рух автоколон вантажівок для підвищення ефективності доставки.

Особливе значення ця технологія має для розвитку автономного вантажного транспорту, який потребує постійного обміну інформацією з оточенням. У майбутньому впровадження V2X може забезпечити повну автоматизацію частини логістичних процесів, включаючи контроль трафіку на терміналах, автоматизовану парковку, контроль за розміщенням вантажу та управління доступом до складських приміщень.

## **6.2 5G та мобільні мережі для логістики**

Невід'ємною технічною складовою реалізації V2X є використання мобільних мереж п'ятого покоління (5G). На відміну від попередніх стандартів зв'язку, 5G забезпечує значно вищу пропускну здатність, наднизьку затримку передачі сигналу (латентність) і можливість обслуговування великої кількості пристроїв одночасно в режимі реального часу.

У сфері логістики технологія 5G відкриває широкі можливості для трансформації транспортної інфраструктури. Завдяки високій швидкості передачі даних логістичні компанії отримують змогу здійснювати постійний моніторинг вантажів, відстежувати технічний стан транспортних засобів, забезпечувати візуалізацію даних з камер у режимі реального часу та оперативно реагувати на зміну дорожньої обстановки.

Крім того, 5G є критично важливою умовою для розвитку безпілотного транспорту. Наднизька затримка в обміні даними дозволяє в режимі реального

часу обробляти сигнали від сенсорів, координувати дії транспортних засобів та забезпечувати дистанційне втручання у випадку непередбачених ситуацій. Наприклад, в автономних логістичних хабах 5G дозволяє забезпечити зв'язок між кранами, навантажувачами, дронами та централізованими системами управління.

Також варто відзначити, що 5G сприяє впровадженню концепції «цифрового двійника» - цифрової копії логістичного процесу або транспортного засобу, що дає змогу симулювати сценарії, прогнозувати ризики та оптимізувати операції в умовах реального часу.

### **6.3 Кібербезпека транспортних перевезень**

Активне використання цифрових технологій у транспортній логістиці водночас породжує нові виклики у сфері кібербезпеки. Інтеграція транспортних засобів у глобальні інформаційні мережі створює потенційні точки вразливості, через які можуть здійснюватися атаки з метою перехоплення даних, блокування роботи, або навіть отримання віддаленого доступу до управління технікою.

У вантажних перевезеннях критично важливим є забезпечення безпеки даних, що стосуються маршруту, стану вантажу, технічного стану автомобіля, а також безперервності зв'язку між транспортними засобами та інфраструктурними об'єктами. Однією з потенційних загроз є так звані «man-in-the-middle» атаки, коли зловмисник перехоплює і змінює дані під час їх передачі між об'єктами транспортної системи. Також поширеними є атаки типу «відмова в обслуговуванні» (DoS/DDoS), що можуть вивести з ладу критичні елементи системи логістики, або фішингові атаки на логістичний персонал.

Ключовими елементами кіберзахисту є використання сучасних методів шифрування, багатофакторна автентифікація, регулярне оновлення програмного забезпечення, а також сегментування мережі з розмежуванням прав доступу. Не менш важливою складовою є навчання персоналу з питань цифрової гігієни, оскільки людський фактор часто є найслабшою ланкою в системі безпеки.

У контексті впровадження V2X та 5G необхідне створення уніфікованих протоколів безпеки, які дозволять захистити дані при міжмережевій взаємодії

між транспортними засобами, хмарами даних та інфраструктурними об'єктами. Питання кіберстійкості мають враховуватись ще на етапі проєктування логістичних систем, а їх постійний моніторинг та оновлення — бути невід'ємною частиною смарт-логістики.

Технології V2X, 5G та заходи кібербезпеки формують сучасну архітектуру розумної логістики, що дозволяє забезпечити високу ефективність, адаптивність і безпеку вантажоперевезень. Впровадження таких рішень створює передумови для повної цифровізації транспортного середовища, де кожен елемент — від транспортного засобу до інфраструктури — є частиною єдиного інформаційного простору.

### **Контрольні питання:**

1. Які чотири основні комунікаційні моделі об'єднує в собі концепція V2X (Vehicle-to-Everything)?

2. Яка головна технічна перевага мереж 5G (порівняно з попередніми стандартами) є критично важливою для миттєвої обробки сигналів безпілотного транспорту?

3. Що таке «цифровий двійник» у контексті логістичних процесів і для чого він використовується?

4. У чому полягає суть кібератаки типу «man-in-the-middle» (MITM) стосовно систем транспортного зв'язку?

5. Які базові інструменти та методи кіберзахисту необхідно впроваджувати на етапі проєктування смарт-логістичних систем для протидії цифровим загрозам?

## ТЕМА 7.

# РОЗУМНІ МІСТА ТА ІНТЕГРАЦІЯ ТРАНСПОРТУ У ЛОГІСТИЧНІ СИСТЕМИ

Гіперурбанізація та концепція «розумних міст» (Smart Cities) висувають нові вимоги до просторової організації товарних потоків. Інтеграція транспорту у міські логістичні системи зумовлена необхідністю вирішення завдань між зростаючими обсягами вантажних доставок (через бум електронної комерції) та обмеженою пропускнуою здатністю міських вулиць, шумовим забрудненням і транспортними колапсами.

Перетворення традиційних залізничних вузлів та портів на смарт-хаби дозволяє синхронізувати глобальні магістральні артерії з внутрішньоміською логістикою «останньої милі». Мультиmodalьні перевезення, керовані інтегрованими хмарними платформами, перетворюють хаотичний міський трафік на керовану кіберфізичну систему. Синергія ШІ та IoT у міському середовищі забезпечує перехід до когнітивного управління: сенсори на контейнерах та дорогах утворюють динамічні мережі, що дозволяють алгоритмам ШІ предиктивно розподіляти вантажі до моменту виникнення заторів. Крім того, впровадження стандартизованих метрик (таких як ISO 37120) для оцінки ефективності смарт-рішень дозволяє гармонізувати економічні інтереси логістичних операторів із соціально-екологічними потребами мешканців міст, забезпечуючи стійкий розвиток урбанізованих територій.

### 7.1 Смарт-порти, залізничні хаби та мультиmodalьні перевезення

У межах концепції сталого розвитку та цифрової трансформації міської інфраструктури значну роль відіграє інтеграція транспорту у логістичні системи розумних міст. Одним із ключових елементів таких систем є *смарт-порти, залізничні хаби* та розвиток *мультиmodalьних перевезень*. Ці інфраструктурні вузли забезпечують ефективне управління вантажопотоками, обмін даними між учасниками ланцюгів постачання та скорочення витрат часу і ресурсів.

*Смарт-порти* — це високотехнологічні морські та річкові порти, які використовують автоматизовані системи обробки вантажів, цифрові платформи

для управління ланцюгами постачання та інтелектуальні рішення для оптимізації роботи причалів. Наприклад, у багатьох сучасних портах впроваджено безпаперові технології оформлення вантажів, автоматичні крани, системи прогнозування прибуття суден і розподілу навантаження на термінали. Це дозволяє значно скоротити простої та зменшити навантаження на міську інфраструктуру.

**Залізничні хаби** також стають важливими центрами цифрової логістики, особливо в умовах транскордонних перевезень. Їх цифровізація передбачає інтеграцію з інформаційними системами інших видів транспорту, відстеження рухомого складу в реальному часі та автоматизоване керування маневровими операціями. Завдяки цьому підвищується пропускна здатність залізничних вузлів, зменшується час обробки вантажів та покращується координація між різними видами транспорту.

Реалізація **мультимодальних перевезень** у смарт-логістиці полягає у використанні двох або більше видів транспорту в межах одного логістичного ланцюга з максимально ефективною взаємодією між ними. Наприклад, комбінація морського, залізничного та автомобільного транспорту в межах одного логістичного маршруту дозволяє оптимізувати час і витрати перевезення, а також скоротити викиди CO<sub>2</sub> за рахунок використання більш екологічних видів транспорту. Інформаційні платформи мультимодальної логістики дають змогу управляти вантажами «від дверей до дверей», відстежувати місцезнаходження вантажу на всіх етапах перевезення та координувати операції у вузлових точках.

## **7.2 Використання AI та IoT у міській логістиці**

Цифрова трансформація логістичних процесів у розумних містах неможлива без активного впровадження таких технологій, як **штучний інтелект (AI)** та **Інтернет речей (IoT)**. Ці технології забезпечують гнучке, адаптивне управління складними логістичними процесами в умовах динамічного міського середовища.

Штучний інтелект застосовується для **аналізу великих обсягів даних**, прогнозування попиту, планування маршрутів та управління запасами.

Алгоритми машинного навчання дозволяють автоматично виявляти закономірності в поведінці споживачів, оптимізувати розміщення складів і пунктів доставки, а також адаптувати логістичні рішення до змін дорожньої ситуації чи погодних умов. Наприклад, AI може генерувати оптимальні графіки доставки з урахуванням часу доби, трафіку та індивідуальних переваг клієнтів.

Інтернет речей, своєю чергою, створює *інфраструктуру постійного збору даних* із фізичних об'єктів - транспортних засобів, контейнерів, складів, терміналів тощо. Завдяки сенсорам та GPS-трекерам можливо здійснювати моніторинг у режимі реального часу: контролювати місцезнаходження вантажу, температуру, вологість, вібрацію чи відкриття тари. Ця інформація передається в хмарні системи обробки, де аналізується за допомогою AI, і на її основі приймаються управлінські рішення.

Поєднання AI та IoT дає змогу створити *адаптивну логістичну систему*, здатну самостійно реагувати на зміни в міському середовищі - затори, аварії, погодні катаклізми - і автоматично коригувати маршрути. Також це дозволяє оптимізувати енерговитрати, скоротити час доставки та покращити обслуговування клієнтів.

### 7.3 Оцінка ефективності смарт-рішень у перевезеннях

Запровадження смарт-технологій у транспортно-логістичній сфері потребує системної *оцінки їх ефективності* - як з економічної, так і з екологічної та соціальної точок зору. Для цього використовуються як кількісні, так і якісні показники, що дозволяють визначити рівень досягнення цілей цифровізації.

Серед основних *кількісних індикаторів* ефективності можна виокремити:

- скорочення часу доставки;
- зменшення витрат на транспортування;
- підвищення точності виконання замовлень;
- зниження кількості логістичних помилок;
- оптимізація використання транспортних засобів;
- зменшення викидів CO<sub>2</sub>.

Крім того, оцінюється *ступінь автоматизації* логістичних процесів, інтегрованість цифрових платформ, масштаб застосування IoT-пристроїв,

стабільність зв'язку та рівень захищеності інформаційної інфраструктури. У довгостроковій перспективі важливими є показники *задоволеності клієнтів, гнучкості логістичної мережі та готовності до масштабування* впроваджених рішень.

На практиці застосовуються методи багатокритеріального аналізу, побудова цифрових двійників для моделювання сценаріїв, а також індикатори відповідності міжнародним стандартам, зокрема ISO 37120 (індикатори якості життя у розумних містах) та ISO 14001 (екологічний менеджмент).

Таким чином, оцінка ефективності смарт-рішень є не лише засобом контролю впровадження, а й інструментом стратегічного управління розвитком розумної логістики.

Важливим аспектом оцінювання є визначення соціального ефекту від впровадження смарт-рішень. До таких показників належать підвищення доступності транспортних послуг, зменшення часу перебування громадян у дорозі, покращення безпеки дорожнього руху та зниження рівня шумового забруднення. У сучасних розумних містах ефективність транспортних інновацій оцінюється не лише за економічними результатами, але й за їх впливом на якість життя населення.

Для комплексного аналізу можуть використовуватися системи моніторингу ключових показників ефективності (KPI), інтерактивні інформаційні панелі (dashboards) та інструменти аналітики великих даних. Це забезпечує можливість оперативного контролю роботи транспортно-логістичних систем та своєчасного виявлення проблемних ділянок.

Розумні міста як екосистеми майбутнього вимагають інтегрованих, цифрово керованих транспортних рішень. Смарт-порти, мультимодальні перевезення, застосування AI та IoT, а також системна оцінка ефективності - це ключові складові побудови стійкої логістичної інфраструктури. Саме вони дозволяють забезпечити баланс між швидкістю, безпекою, екологічністю та економічною доцільністю перевезень у міському та регіональному контексті.

### **Контрольні питання:**

1. Які саме технологічні рішення та інновації перетворюють традиційні морські й річкові порти на «смарт-порти»?
2. У чому полягає головний принцип реалізації мультимодальних перевезень у смарт-логістиці?
3. Які специфічні параметри стану вантажу (окрім його геопозиції) здатні контролювати IoT-сенсори в міському середовищі?
4. Для вирішення яких завдань у міській логістиці застосовуються алгоритми штучного інтелекту та машинного навчання?
5. Які міжнародні стандарти (ISO) згадуються в тексті для оцінки відповідності смарт-рішень критеріям екологічного менеджменту та якості життя в розумних містах?

## ТЕМА 8.

### ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЙ НА ТРАНСПОРТІ

Індустріальний розвиток та перетворення висуває нові вимоги до архітектури ланцюгів постачання. Дослідження перспектив розвитку смарт-технологій на транспорті зумовлена переходом від фрагментарної автоматизації окремих підприємств до формування єдиного глобального цифрового простору, що базується на принципах сумісності різних систем та децентралізації.

Впровадження таких проривних інновацій, як технологія блокчейн, смарт-контракти та наскрізні IoT-мережі, дозволяє змінити саму парадигму взаємодії учасників ринку - від лінійних трансакцій до динамічних самоорганізованих екосистем. Проте темпи цієї трансформації стримуються не стільки технічними обмеженнями, скільки інституційним вакуумом: відсутністю міжнародних правових рамок для безпілотного флоту, уніфікованих стандартів відкритих API та транскордонного електронного документообігу. Це актуалізує розробку нових регуляторних моделей під егідою міжнародних інституцій (UNECE, ITF). Водночас радикальна зміна технологічного укладу створює гострий дефіцит мультидисциплінарних кадрів, здатних працювати на стику Data Science, логістичного інжинірингу.

#### 8.1 Тренди цифрової трансформації у логістиці

Цифрова трансформація транспортно-логістичної галузі є відповіддю на глобальні виклики XXI століття, пов'язані зі зростанням обсягів перевезень, необхідністю зниження викидів парникових газів, забезпеченням прозорості ланцюгів постачання та адаптації до нестабільних зовнішніх умов. Одним із провідних напрямів розвитку транспортної логістики є впровадження інтелектуальних технологій, здатних забезпечити гнучкість, адаптивність і проактивне управління логістичними процесами.

Серед основних трендів цифровізації виділяються:

- Інтеграція штучного інтелекту (AI) у прогнозування попиту, оптимізацію маршрутів і управління запасами;

- Широке застосування IoT для моніторингу стану вантажів, транспортних засобів, складів і інфраструктури;
- Використання технологій блокчейн для захисту даних і прозорості взаємодії між учасниками логістичного ланцюга;
- Поширення автономного транспорту (вантажівки, дрони, роботи) для автоматизації останньої милі доставки;
- Створення цифрових двійників логістичних систем, що дозволяє моделювати сценарії, оцінювати ризики та підвищувати ефективність прийняття рішень.

Окремим напрямом розвитку сучасної логістики є формування концепції Logistics 4.0, яка базується на принципах цифрової інтеграції, автоматизації та використання даних як ключового ресурсу управління. На відміну від традиційної логістики, де рішення приймалися переважно на основі досвіду фахівців та історичних показників, смарт-логістика передбачає використання алгоритмів прогнозування та автоматизованих систем підтримки прийняття рішень.

Важливим елементом майбутніх транспортних систем стають цифрові екосистеми, у яких усі учасники логістичного процесу — виробники, перевізники, складські оператори та кінцеві споживачі — взаємодіють через єдині інформаційні платформи. Це дозволяє забезпечити повну прозорість руху вантажів, скоротити час виконання операцій та швидше адаптуватися до змін попиту.

Перспективним напрямом також є розвиток предиктивної аналітики, коли цифрові системи не лише відображають поточний стан процесів, а й прогнозують можливі затримки, технічні несправності або зміни транспортних потоків. Завдяки цьому компанії переходять від реагування на проблеми до їх попередження.

Також активно розвиваються мобільні додатки для управління перевезеннями, смарт-склади з роботизованими процесами обробки вантажів, а також інтегровані платформи, що об'єднують різних операторів у єдиному

цифровому середовищі. Ці технології формують нову архітектуру логістики - від лінійної до мережевої, з високим ступенем автоматизації та самоорганізації.

## **8.2 Законодавчі та технічні виклики**

Незважаючи на позитивну динаміку впровадження смарт-рішень у транспорті, існує низка законодавчих та технічних бар'єрів, які сповільнюють темпи цифрової трансформації. Одним із ключових викликів є відсутність уніфікованого регулювання щодо використання новітніх технологій у транспортній сфері. Багато країн не мають чітко визначених правових рамок для функціонування автономного транспорту, обміну даними між учасниками логістичних систем або використання електронних контрактів.

Також спостерігається інтеперабельна роз'єднаність між окремими цифровими системами, що ускладнює інтеграцію логістичних ланцюгів на міжнародному рівні. Це особливо актуально для країн із різним рівнем цифрової зрілості інфраструктури. Наприклад, різні формати електронних документів, несумісні системи GPS або відсутність доступу до відкритих API можуть унеможливити ефективну взаємодію перевізників.

На технічному рівні ключовими проблемами залишаються:

1. Нестача високошвидкісного інтернету на частині маршрутів.
2. Недостатня кіберзахищеність IT-інфраструктури.
3. Висока вартість модернізації обладнання та навчання персоналу.
4. Низький рівень цифрової компетентності у частини операторів, водіїв і логістичних фахівців.

Особливої уваги потребує питання кібербезпеки транспортних систем. Збільшення кількості підключених транспортних засобів, датчиків IoT та цифрових платформ призводить до зростання ризиків несанкціонованого доступу до даних або порушення роботи критичної транспортної інфраструктури. Тому майбутній розвиток смарт-технологій повинен супроводжуватися впровадженням сучасних методів захисту інформації та міжнародних стандартів кібербезпеки.

Ще одним викликом є необхідність забезпечення сумісності цифрових систем різних країн і компаній. Для ефективної роботи глобальних ланцюгів постачання необхідно, щоб транспортні платформи, електронні документи, системи моніторингу та митні сервіси могли обмінюватися даними незалежно від виробника програмного забезпечення або країни використання.

Крім того, впровадження смарт-рішень потребує значних інвестицій. Для багатьох малих і середніх транспортних підприємств висока вартість цифрової модернізації залишається одним із головних бар'єрів переходу до нових технологічних моделей.

Переосмислення технічних стандартів, гармонізація нормативної бази на міждержавному рівні, а також підтримка інноваційних стартапів - є основними умовами подолання цих викликів. Важливу роль тут відіграють і міжнародні організації (наприклад, UNECE, ITF), які розробляють рекомендації з цифровізації логістики.

### **8.3 Перспективи кар'єри у сфері смарт-логістики**

Зі зростанням цифрової інтеграції транспортних систем формуються нові професійні напрями та ролі, що поєднують знання з логістики, інформаційних технологій, аналітики даних та управління ризиками. Професії у сфері смарт-логістики стають дедалі більш затребуваними як в державному, так і в приватному секторах.

Серед перспективних напрямів кар'єри можна виділити:

- Аналітик логістичних даних (Logistics Data Analyst) - фахівець, який обробляє і візуалізує дані для прийняття стратегічних рішень;
- Інженер із впровадження IoT-рішень у логістиці - спеціаліст, що займається підключенням пристроїв до єдиної мережі;
- Координатор смарт-ланцюгів постачання - професіонал, який працює з цифровими платформами для управління перевезеннями;
- Фахівець з кібербезпеки транспортних систем - нова роль, пов'язана із захистом цифрової логістичної інфраструктури;

- Менеджер з інновацій у транспорті - фахівець, що очолює впровадження новітніх технологій у компанії.

Значний попит спостерігається також на мультидисциплінарних фахівців, які здатні координувати взаємодію між технічними підрозділами, ІТ-командами та логістичними операторами. Такі фахівці повинні володіти як аналітичним мисленням, так і знанням міжнародних стандартів у галузі транспорту та цифрової трансформації.

Важливо також зазначити, що навчання протягом усього життя (lifelong learning) стає обов'язковою умовою успіху у цій галузі. Ринок праці динамічно змінюється, тому майбутні фахівці повинні бути готовими до постійного оновлення знань і навичок - зокрема у сфері ІІІ, аналітики великих даних, блокчейну, автоматизації складів тощо.

Майбутній фахівець транспортної галузі повинен поєднувати класичні знання з організації перевезень із цифровими компетентностями. Все більшого значення набуває вміння працювати з інформаційними системами управління транспортом (TMS), складськими платформами (WMS), аналітичними інструментами та цифровими сервісами моніторингу.

Водночас автоматизація не означає повного виключення людини з логістичних процесів. Роль спеціаліста поступово змінюється: від виконання стандартних операцій до контролю цифрових систем, аналізу результатів їх роботи та прийняття стратегічних рішень. Людина стає координатором складних цифрових процесів, де технології виконують рутинні операції, а фахівець відповідає за управління, оптимізацію та розвиток системи.

Розвиток смарт-технологій у транспорті створює нові можливості для ефективного управління логістикою, але водночас вимагає подолання законодавчих та технічних бар'єрів. Успішна цифрова трансформація потребує узгоджених дій на рівні державної політики, бізнесу та освіти. Для студентів та фахівців відкриваються перспективи роботи у нових професійних напрямках, що об'єднують логістику, цифрові технології та управління змінами.

### **Контрольні питання:**

1. Які п'ять провідних технологічних трендів визначають перехід сучасної логістики від лінійної до мережевої архітектури?
2. Які правові та регуляторні бар'єри ускладнюють масштабне використання автономного (безпілотного) вантажного транспорту на міжнародному рівні?
3. Що таке «інтероперабельна роз'єднаність» цифрових систем і як вона впливає на взаємодію міжнародних перевізників?
4. Які технічні та інфраструктурні обмеження (на етапі впровадження ІТ-рішень) залишаються найбільш критичними на самих транспортних маршрутах?
5. Назвіть щонайменше три нові професійні ролі, які виникли на ринку праці внаслідок інтеграції ІТ-технологій у сферу логістики.

## ВИСНОВКИ

Поєднання телематики, Big Data та ШІ докорінно змінює управління потоками. Перехід від пасивного GPS-моніторингу до предиктивного аналізу в реальному часі дозволяє компаніям не просто констатувати збої, а прогнозувати затори, оптимізувати маршрути та автоматизувати складські хаби за допомогою роботів AGV і систем AS/RS.

Впровадження електромобілів (BEV) та водневого транспорту (FCEV) є ключем до «зеленої» логістики. Ефективність цього переходу критично залежить від створення інтелектуальної інфраструктури - «розумних» локальних енергомереж (Smart Grids) та інструментів геофенсингу, які дозволяють знизити навантаження на міські мережі та вартість зарядки флоту.

Технології зв'язку п'ятого покоління 5G забезпечують наднизьку латентність для безпілотних систем і побудови «цифрових двійників» Digital Twins міських смарт-портів та мультимодальних хабів. Це мінімізує простоя, проте актуалізує проблеми кібербезпеки та захисту даних від стороннього втручання (MITM/DDoS-атак).

Головними перешкодами на шляху цифрового форсайту залишаються правовий вакуум навколо безпілотників, роз'єднаність форматів даних (відсутність єдиних API) та дефіцит мультидисциплінарних фахівців. Подолання цих бар'єрів через концепцію «навчання протягом усього життя» Lifelong learning є обов'язковою умовою для побудови конкурентоспроможної логістики майбутнього.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Kulova D., Boyko M., Kosyakevych D. Assessment of Risk Factors and Improvement of Transportation Technology for Temperature-Sensitive Cargo in Refrigerated Containers. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2026. Issue 13(44), Part I. P. 1-10.

2. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41), ч.ІІ, С. 205-213. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.205-213](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213)

3. Кульова Д.О., Магопець С.О., Лівіцький О.М. Безпека дорожнього руху в Україні: оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч.ІІ. С. 298-312. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.278-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285)

4. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.

5. Аулін В. В., Митник М. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Цьонь О. П., Лисенко С. В., Гудь В. З., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Бабій М. В. Формування та функціонування логістичних центрів в регіональних транспортно-логістичних системах України: монографія за заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В. В., д.т.н., проф. Ляшука О. Л. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. – 393 с.

6. Kosacka-Olejnik M., Kostrzewski M., Marczevska M., Mrówczyńska B., Pawlewski P. How digital twin concept supports internal transport systems?— Literature review. *Energies*. 2021. Vol. 14, No. 19. Article 6150. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14164919>

7. Kersten W., Blecker T., Ringle C. M. (Eds.). *Artificial Intelligence and Digital Transformation in Supply Chain Management*. Hamburg : Verlag, 2022. 585 p.

8. Uckelmann D., Harrison M., Michahelles F. (Eds.). *Architecting the Internet of Things*. Berlin : Springer, 2011. 351 p.

9. Oliveira J. B., Jin M., Lima R. S., Kobza J. E., Montevechi J. The role of simulation and optimization methods in supply chain risk management. *Simulation Modelling Practice and Theory*. 2019. Vol. 92. P. 17–44
10. Paksoy T., Koçhan Ç. G., Ali S. S. (Eds.). *Logistics 4.0: Digital Transformation of Supply Chain Management*. Boca Raton : CRC Press, 2021. 360 p.
11. Rosin F., Forget P., Lamouri S., Pellerin R. Impacts of Industry 4.0 technologies on Lean principles. *International Journal of Production Research*. 2020. Vol. 58, No. 6. P. 1644–1661. DOI: 10.1080/00207543.2019.1672902.
12. Tortorella G. L., Fettermann D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*. 2018. Vol. 56, No. 8. P. 2975–2987. DOI: 10.1080/00207543.2017.1391420
13. Addo-Tenkorang R., Helo P. T. Big data applications in operations/supply-chain management: A literature review. *Computers & Industrial Engineering*. 2016. Vol. 101. P. 528–543. DOI: 10.1016/j.cie.2016.09.023
14. Christopher M., Peck H. Building the resilient supply chain. *The International Journal of Logistics Management*. 2004. Vol. 15, No. 2. P. 1–14. DOI: 10.1108/09574090410700275
15. Ceryno P. S., Scavarda L. F., Klingebiel K. Supply chain risk: Empirical research in the automotive industry. *Journal of Risk Research*. 2015. Vol. 18, No. 9. P. 1145–1164

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

"Смарт-технології"

для студентів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти спеціальності J8 "Автомобільний транспорт" денної та заочної  
форм навчання

Автори: Д.О. Кульова, А.В. Гриньків, В.В. Аулін

Електронне видання

© ЦНТУ, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.