

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра "Експлуатація та ремонт машин"



СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ

Методичні вказівки

до виконання практичних робіт
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. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни "Смарт-технології" для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності J8 "Автомобільний транспорт" денної та заочної форм навчання, Кропивницький: ЦНТУ, 2026. – 40 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;

Тищенко С.Ю. – начальник Кропивницького регіонального відділення компанії "ЕСО-АВТОТЕХНІКС".

Автори: Кульова Д.О. – д-р філос., ст. викл. каф. "ЕРМ".

Гриньків А.В. – к.т.н., с.н.д., ст. 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
1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ	5
2. ПРАКТИЧНІ РОБОТИ	6
Практична робота 1. Цифрові інновації в логістиці: аналіз сучасних рішень	6
Практична робота 2. Смарт-управління вантажопотоками у міському середовищі	9
Практична робота 3. Безпілотні рішення в логістиці: перспективи і виклики	13
Практична робота 4. Цифрові інструменти контролю логістичних процесів	17
Практична робота 5. Енергетичні альтернативи у вантажних перевезеннях	21
Практична робота 6. Цифрова взаємодія транспортних систем: можливості V2X	25
Практична робота 7. Логістичні хаби в цифрових містах	29
Практична робота 8. Виклики цифрової логістики майбутнього	33
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	39

ВСТУП

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується глобальною цифровою трансформацією, що докорінно змінює архітектуру традиційних логістичних систем. Концепція «Логістики 4.0/5.0» та Індустрії 4.0/5.0 висуває нові, жорсткі вимоги до швидкості, прозорості та екологічності вантажних перевезень. Впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS), технологій міжтранспортної взаємодії (V2X), хмарних платформ управління (TMS, WMS, YMS) та безпілотних рішень (SAE Level 4/5) перетворило транспортні технології з допоміжного інструменту на стратегічний драйвер конкурентоспроможності. Особливої гостроти ці питання набувають у межах міської дистрибуції «останньої милі» та управління ланцюгами постачання швидкопсувної продукції в агропромисловому комплексі, де часові та температурні відхилення критично впливають на збереженість вантажів. Для України, в умовах євроінтеграції та необхідності повоєнного відновлення інфраструктури, перехід на цифрові інструменти контролю (e-CMR, системи WIM та предиктивного моніторингу) є ключовою умовою інтеграції в європейську транспортну мережу TEN-T. Це зумовлює високу актуальність глибокого теоретичного та практичного дослідження смарт-технологій майбутніми фахівцями автомобільного транспорту.

Об'єктом дослідження є транспортно-логістичні процеси, системи смарт-управління вантажопотоками та альтернативні джерела енергії у вантажних перевезеннях.

Предметом дослідження є алгоритми, цифрові інструменти, інженерні рішення та закономірності впровадження інноваційних технологій (Big Data, IoT, ШІ, V2X) для оптимізації функціонування транспортних систем.

Метою практичних робіт є закріплення теоретичних знань та набуття комплексних практичних навичок аналізу, моделювання та розробки техніко-технологічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності, безпеки та екологічності логістичних процесів за допомогою цифрових інновацій.

1. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Методичні вказівки розроблені з метою закріплення теоретичного матеріалу і отримання навиків аналізу та розробка технічних рішень на практичних заняттях з дисципліни "Смарт-технології". Методичні вказівки призначені для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності J8 "Автомобільний транспорт" денної та заочної форм навчання.

Студентам пропонується вісім практичних робіт, зміст яких охоплює програму дисципліни. В кожній практичній роботі наведена тема, питання для обговорення, відомості актуальності теми на практиці, теми для рефератів/презентацій, питання для самостійного контролю та рекомендована література. За своїм індивідуальним варіантом завдань кожен студент формує реферат або презентацію згідно з завданням від викладача та після виконання цього завдання захищає відповідну роботу.

При підготовці до виконання завдань практичних робіт і їх захисту студенти повинні самостійно опрацювати рекомендовану літературу та дати відповіді на питання для самостійного контролю. Завдання виконуються індивідуально згідно варіантів, що визначаються викладачем, як правило, згідно порядкового номеру списку у журналі групи або за номером залікової книжки.

По кожній практичній роботі оформлюється реферат, або звіт з ілюстративним матеріалом. Кожну виконану практичну роботу студент захищає в індивідуальному порядку. Звіт повинен містити тему практичної роботи, назву індивідуального завдання, варіант, висновки, список використаної літератури. Збірка захищених практичних робіт є допуском до здачі екзамену/заліку з дисципліни "Смарт-технології". Звіти по практичним роботам повинні зберігатися до кінця семестру й одержання екзамену/заліку з дисципліни. Слід пам'ятати, що всі роботи, без винятку, повинен проробити кожен студент і здати викладачу збірку звітів з практичних робіт перед складанням екзамену/заліку.

Практична робота 1. Цифрові інновації в логістиці: аналіз сучасних рішень

Питання для обговорення:

1. Проаналізувати приклад цифрового сервісу (наприклад, Uber Freight, Nova Poshta, DHL Smart Logistics): які технології в ньому використовуються?
2. Обговорити, які елементи логістики піддаються цифровізації першочергово, а які – найповільніше, і чому.
3. Уявити себе логістом майбутнього: які цифрові навички та інструменти будуть обов'язковими?

Стрімкий розвиток цифрових технологій суттєво трансформує логістичну галузь, змінюючи підходи до організації перевезень, управління запасами та взаємодії між учасниками ланцюгів постачання. Сучасні логістичні компанії активно впроваджують цифрові рішення для автоматизації процесів, підвищення прозорості операцій та забезпечення швидкого обміну інформацією між усіма учасниками транспортного процесу.

Вивчення цифрових інновацій у логістиці передбачає аналіз сучасних технологій, що лежать в основі функціонування цифрових платформ та сервісів. До таких технологій належать штучний інтелект, Big Data, Інтернет речей (IoT), хмарні обчислення, GPS-моніторинг, мобільні додатки та системи автоматизованого управління перевезеннями. Їх використання дозволяє оптимізувати маршрути, прогнозувати попит, контролювати переміщення вантажів у режимі реального часу та підвищувати ефективність прийняття управлінських рішень.

Особливого значення цифрові інновації набувають в умовах зростання обсягів міжнародної торгівлі та розвитку електронної комерції. Для майбутніх фахівців транспортних технологій розуміння принципів функціонування сучасних цифрових рішень є необхідною складовою професійної підготовки, оскільки саме ці технології визначають подальший розвиток логістики та формують нові вимоги до компетентностей логіста.

Теми для рефератів/презентацій

1. Штучний інтелект у логістиці: сучасні можливості та перспективи розвитку.
2. Використання технологій Big Data для прогнозування логістичних процесів.
3. Інтернет речей (IoT) як основа цифрової трансформації логістики.
4. Цифрові платформи управління перевезеннями (TMS): функції та переваги.
5. Системи управління складом (WMS) у сучасній логістиці.
6. Цифрові технології в діяльності компанії «Нова пошта».
7. Інноваційні логістичні рішення компанії DHL.
8. Платформа Uber Freight як приклад цифровізації вантажних перевезень.
9. GPS-моніторинг та телематика в управлінні транспортними засобами.
10. Хмарні технології в логістиці та управлінні ланцюгами постачання.
11. Blockchain-технології для забезпечення прозорості логістичних операцій.
12. Автоматизація складських процесів із використанням робототехніки.
13. Цифрові двійники (Digital Twins) у транспортно-логістичних системах.
14. Безпаперові технології та електронний документообіг у логістиці.
15. Мобільні додатки як інструмент управління логістичними процесами.
16. Розвиток електронної комерції та її вплив на цифровізацію логістики.
17. Кібербезпека цифрових логістичних платформ.
18. Автономний транспорт у логістиці: сучасний стан та перспективи.
19. Смарт-логістика як концепція розвитку транспортних систем майбутнього.
20. Цифрові компетентності логіста в умовах Індустрії 4.0.

Питання для самостійного контролю

1. Логістична компанія використовує систему прогнозування попиту на основі Big Data для планування доставки товарів. Проте через різке зростання попиту під час сезонного розпродажу система помилилася з прогнозом, що призвело до дефіциту транспорту. Які причини могли спричинити таку похибку прогнозування та які додаткові джерела даних доцільно використати для підвищення точності прогнозів?

2. Підприємство впровадило сучасну цифрову платформу для управління перевезеннями, однак водії продовжують передавати частину інформації телефоном або через месенджери. Чому навіть за наявності цифрових сервісів можуть виникати інформаційні розриви та які організаційні заходи необхідні для повноцінної цифровізації процесів?

3. Компанія планує впровадити систему GPS-моніторингу та мобільний додаток для водіїв. Які переваги отримають диспетчери, клієнти та перевізники від використання цих цифрових інструментів, і які ризики можуть виникнути під час їх експлуатації?

4. Логістичний оператор розглядає можливість використання штучного інтелекту для автоматичного вибору маршрутів доставки. Які фактори повинен враховувати алгоритм під час прийняття рішень та в яких ситуаціях остаточне рішення доцільно залишити за людиною?

5. Велика логістична компанія об'єднала дані зі складів, транспортних засобів та клієнтських сервісів в єдину цифрову платформу. Які переваги для управління ланцюгом постачання забезпечує така інтеграція та які проблеми можуть виникнути під час об'єднання даних з різних інформаційних систем?

Рекомендована література: [1, 2, 4, 7, 12]

Практична робота 2. Смарт-управління вантажопотоками у міському середовищі

Питання для обговорення:

1. Визначити ключові переваги ITS для вантажоперевезень на прикладі умов великого міста.
2. Оцінити ефективність рішень типу Waze або Google Traffic: чи можна вважати їх складовою ITS?
3. Сформувати пропозицію: як інтегрувати автоматизовану систему збору плати за проїзд у місто X (вигадане або реальне).

Інтенсивний розвиток електронної комерції та зміна споживчих моделей у бік миттєвої доставки (On-Demand Delivery) спровокували критичне навантаження на транспортну інфраструктуру сучасних міст. Традиційні підходи до організації логістики, що базуються на статичних графіках та фіксованих маршрутах, у щільній міській забудові демонструють повну неефективність. Це призводить до утворення масштабних заторів, дефіциту паркувальних місць для розвантаження та різкого погіршення екологічного стану міст. У таких умовах перехід до смарт-управління вантажопотоками стає єдиним інструментом забезпечення життєздатності міської логістичної екосистеми.

Дослідження інтелектуальних систем керування внутрішньоміськими вантажопотоками полягає в аналізі можливостей динамічної синхронізації логістики з муніципальним трафіком. Смарт-управління базується на обробці масивів Big Data, які надходять від міських камер відеоаналітики, IoT-датчиків інтелектуальних транспортних систем (ITS) та GPS-трекерів комерційних автопарків. Це дозволяє впроваджувати інструменти предиктивного моделювання: динамічно перенаправляти потоки доставки в обхід пікових заторів, впроваджувати концепцію розумних зон завантаження (Smart Loading Zones) з можливістю онлайн-бронювання вікон для розвантаження, а також координувати роботу мікро-хабів та Dark Stores.

Особливого значення смарт-менеджмент міських вантажопотоків набуває в контексті реалізації концепції «Зеленого міста» (Green City) та впровадження жорстких зон низьких викидів (LEZ) у європейських мегаполісах. Для майбутніх фахівців з транспортних технологій та логістики глибоке розуміння алгоритмів інтелектуальної маршрутизації та інструментів мікро-дистрибуції є ключовою вимогою, оскільки саме ці цифрові рішення дозволяють знизити собівартість доставки «останньої милі» та інтегрувати комерційний транспорт у розумну інфраструктуру сучасного міста.

Теми для рефератів/презентацій

1. Інтелектуальні зони доставки (Smart Delivery Zones): алгоритми динамічного ціноутворення та бронювання паркомісць для комерційних авто в реальному часі.

2. Оптимізація використання міських бордюрних просторів (Curb Space Management) в умовах конфлікту інтересів таксі, шерингового та вантажного транспорту.

3. Смарт-регулювання в'їзду вантажного транспорту в центральні зони міст на основі датчиків контролю екологічних викидів (LEZ — Low Emission Zones).

4. Моделювання нічних логістичних потоків (Nighttime Logistics): інструменти зниження шумового навантаження та оптимізації нічного розвантаження в житлових кварталах.

5. Цифровізація паркувальних майданчиків для вантажної техніки на під'їздах до мегаполісів з метою координації часу в'їзду (Just-in-Time City Entry).

6. Предиктивна міська маршрутизація: використання історичних даних та машинного навчання для прогнозування «хвиль» заторів на вузьких вулицях.

7. Алгоритми маршрутизації для мультистоп-доставки (Multi-stop Routing) в умовах міських обмежень на ліві повороти та специфіку маневрування.

8. Інтеграція GPS-даних комерційних флотів із міськими центрами керування рухом (ЦКР) для оптимізації роботи світлофорів.

9. Використання краудсорсингових даних (Waze, Google Maps API) в корпоративних TMS для мікро-навігації «останньої милі».
10. Алгоритми динамічного перегрупування вантажів (Dynamic Cross-docking) між магістральними машинами та міськими розвізними фургонами на ходу.
11. Управління потоками доставок за допомогою інтелектуальних вантажних велосипедів (E-cargo bikes) з використанням GPS-геозон.
12. Маршрутизація піших кур'єрів усередині великих багатоповерхових житлових комплексів (High-rise Logistics): побудова 3D-маршрутів «до дверей».
13. Використання смарт-контейнерів та знімних кузовів-капсул для швидкої мікро-дистрибуції безпосередньо на тротуарах міст.
14. Аналіз впливу експрес-доставки їжі (Food Delivery) на пропускну здатність велодоріжок та безпеку пішохідних зон у смарт-містах.
15. Моделювання використання громадського транспорту (метро, трамваї) для нічного перевезення вантажів у структурі міських вантажопотоків.
16. Цифрові платформи взаємодії B2G (Business-to-Government) для отримання дозволів на рух негабаритного та важковагового транспорту містом.
17. Аналіз логістичних потоків за допомогою міських систем комп'ютерного зору (AI-камер): класифікація комерційного транспорту за типами та інтенсивністю.
18. Смарт-моніторинг завантаження сміттєприбирального транспорту та оптимізація комунальної логістики за допомогою IoT-датчиків у контейнерах.
19. Цифрові платформи спільного використання міського транспорту (Cooperative Logistics) малим та середнім бізнесом для консолідації вантажів.
20. Проектування інтерактивних карт міських обмежень (габарити, вага, час руху) з автоматичною інтеграцією в навігатори водіїв.

Питання для самостійного контролю

1. Комерційна доставка, таксі та шеринговий транспорт одночасно претендують на використання першої смуги руху та тротуарів. Яким чином

інтелектуальна система керування містом (*Smart City*) може реалізувати алгоритм динамічного бронювання бордюрного простору (*Smart Loading Zones*), щоб кур'єрські служби могли гарантовано розвантажуватися без створення заторів та блокування смуг громадського транспорту?

2. На основі аналізу яких саме масивів даних (*Big Data*) - таких як теплові карти замовлень, щільність населення, середня швидкість піших кур'єрів та радіуси покриття, алгоритми визначають оптимальну локацію для розміщення нового мікро-складу типу *Dark Store* або *Micro-fulfillment center* у спальному районі міста? Яким чином це допомагає витримувати часовий норматив доставки у 15–20 хвилин?

3. Муніципалітети багатьох європейських міст активно впроваджують зони низьких викидів (*Low Emission Zones*), обмежуючи або повністю забороняючи в'їзд дизельних вантажівок до центральних районів. До якої трансформації міських логістичних ланцюгів це призводить і як смарт-управління вантажопотоками допомагає скоординувати перевантаження товарів на периферії міста з великих магістральних тягачів на екологічну мікро-мобільність (*E-cargo bikes* чи легкі електрофургони)?

4. Впровадження нічної або позапікової доставки (*Off-Peak Delivery*) суттєво розвантажує денний міський трафік. Проте, з якими технологічними та експлуатаційними викликами (наприклад, автоматизація доступу кур'єрів на закриті склади/магазини без участі персоналу, шумоізоляція розвантажувального обладнання) стикаються смарт-системи управління, і як диференційовані муніципальні тарифи можуть стимулювати бізнес переходити на нічний режим роботи?

5. При доставці товарів у сучасних районах із щільною багатоповерховою забудовою (*High-rise buildings*) класична двовимірні GPS-навігація на карті стає неефективною через вертикальний фактор руху. Які параметри та технології контролю (наприклад, 3D-картування внутрішніх просторів будівель, інтеграція з цифровими системами консьерж-сервісу та смарт-ліфтами) повинен підтримувати мобільний додаток кур'єра, щоб оптимізувати логістику «останнього метра» безпосередньо до дверей клієнта?

Рекомендована література: [2, 3, 5, 8, 13]

Практична робота 3. Безпілотні рішення в логістиці: перспективи і виклики

Завдання для обговорення:

1. Визначити ризики й переваги використання автономних вантажівок у ЄС або США - приклади з реального досвіду.
2. Розглянути правові та етичні виклики безпілотної доставки дронами.
3. Уявити: як виглядає логістичний центр, в якому всі автопарки керуються Штучним інтелектом.

Глобальна логістична індустрія перебуває на етапі масштабного технологічного зсуву за всю історію - переходу від людського керування до повністю автономних транспортних систем. Дефіцит кваліфікованих водіїв-далекобійників, жорсткі обмеження щодо режимів праці й відпочинку та прагнення компаній мінімізувати вплив людського фактора на безпеку руху змушують світових автогігантів інвестувати мільярди в автономне водіння. У цих умовах дослідження перспектив та викликів упровадження безпілотних рішень у логістиці стає стратегічним завданням для розвитку всієї транспортної галузі, що підтверджує високу цінність теми.

Дослідження безпілотних технологій полягає в аналізі реальної готовності інфраструктури до роботи з роботранспортом та виявленні критичних перешкод. Якщо в закритих локаціях (розумні склади, закриті кар'єри, контейнерні термінали портів) безпілотні AGV-платформи та тягачі вже сьогодні демонструють високу ефективність, то вихід безпілотників 4-го та 5-го рівнів автономності (SAE Level 4/5) на дороги загального користування зіштовхується із серйозними викликами. До них належать: нестабільність роботи сенсорів (лідарів, радарів) в екстремальних погодних умовах, складність алгоритмів прийняття рішень у критичних аварійних ситуаціях (етичні дилеми) та повна відсутність єдиної міжнародної нормативно-правової бази, яка б чітко визначала відповідальність за ДТП за участю робомобіля.

Особливого значення аналіз безпілотних рішень набуває в контексті довгострокового планування модернізації транспортних коридорів. Майбутній інженер-логіст повинен чітко розуміти не лише економічні вигоди від безперервного руху безпілотних автопоїздів (24/7), а й інженерні вимоги до побудови смарт-інфраструктури (розумна розмітка, V2X-модулі на дорогах), без якої безпечна експлуатація автономних вантажівок є неможливою. Комплексний розбір цих чинників дозволить проектувати логістичні системи нової генерації.

Теми для рефератів/презентацій

1. Порівняльний аналіз архітектури сенсорних систем безпілотної вантажівки: інтеграція Лідарів (LiDAR), Радарів (Radar) та ШІ-камер у єдину систему сприйняття (Sensor Fusion).

2. Проблема деградації роботи оптичних сенсорів автономного транспорту в умовах сильного снігопаду, зливи чи туману: інженерні методи очищення та компенсації даних.

3. Використання тепловізійних камер (Thermal Imaging) у системах нічного бачення безпілотних логістичних комплексів.

4. Обчислювальна потужність бортових комп'ютерів автономних вантажівок: архітектура нейропроцесорів (NPU) та архітектура резервування систем керування (Fail-Safe).

5. Вплив вібрацій та динамічних навантажень важкого напівпричепа на калібрування сенсорного обладнання безпілотного тягача.

6. Високоточні 3D-карти (HD Maps) як основа навігації автономного транспорту: технології динамічного оновлення карт у реальному часі через хмару.

7. Алгоритми прогнозування поведінки інших учасників дорожнього руху (Behavior Prediction) нейромережами безпілотника.

8. Обробка крайових сценаріїв (Edge Cases) алгоритмами ШІ: як безпілотна вантажівка приймає рішення при зустрічі з нестандартними об'єктами (наприклад, тваринами чи нестандартним спецтранспортом).

9. Навігація безпілотних логістичних роботів в умовах відсутності або придушення GPS-сигналу за допомогою методів SLAM (одночасна локалізація та картування).

10. Імітаційне моделювання (Simulation Testing) в цифрових середовищах як головний інструмент навчання ШІ автономних машин перед виїздом на реальні дороги.

11. Роботизовані мобільні платформи (AGV та AMR): порівняльний аналіз гнучкості навігації при автоматизації великих ТЛЦ.

12. Безпілотні навантажувачі та штабелери з ШІ-керуванням: оптимізація траєкторій руху всередині високостелажних складів.

13. Автономні тягачі для закритих промислових зон та портових терміналів: досвід інтеграції безпілотного контейнерного флоту.

14. Системи диспетчеризації рою роботів (Fleet Orchestration) на автоматизованих фулфілмент-центрах.

15. Автоматизація інвентаризації складських площ за допомогою автономних внутрішніх дронів.

16. Концепція "Розумної дороги" (Smart Infrastructure) для безпілотників: вимоги до радіоміток, спеціальної розмітки та дорожніх знаків.

17. Роль виділених смуг для автономного комерційного транспорту на автомагістралях як перехідного етапу цифровізації.

18. Проектування спеціальних терміналів перечеплення (Transfer Hubs) на в'їздах до міст для передачі напівпричепів від безпілотних тягачів людським екіпажам.

19. Взаємодія безпілотної вантажівки з поліцією та екстреними службами: протоколи безпечної примусової зупинки та зчитування сигналів регулювальника.

20. Безпілотна доставка "останньої милі": аналіз ефективності використання дронів-кур'єрів у сільській та важкодоступній місцевості.

Питання для самостійного контролю

1. Чому при проектуванні безпілотної вантажівки неможливо обійтися лише ШІ-камерами (як це намагаються робити деякі виробники легкових авто) або лише лідарами (*LiDAR*)? Опишіть конкретну дорожню ситуацію (наприклад, рух проти сонця на засніженій трасі або виїзд з тунелю в туман), де технологія об'єднання даних (*Sensor Fusion*) рятує автомобіль від критичної помилки розпізнавання об'єктів.

2. Що таке «крайові сценарії» (*Edge Cases*) у контексті машинного навчання автономних вантажівок і чому їх практично неможливо протестувати на дорогах загального користування? Яким чином використання високоточного імітаційного моделювання (*Simulation Testing*) в цифрових середовищах вирішує проблему навчання ШІ реагуванню на надзвичайні та небезпечні ситуації на дорозі?

3. У чому полягає принципова різниця між навігацією магістрального безпілотного тягача на трасі за допомогою високоточних 3D-карт (*HD Maps*) та навігацією внутрішньоскладського робота (*AMR*) на великому логістичному терміналі за допомогою методів *SLAM* (одночасна локалізація та картування)? Яка з цих систем є автономнішою при раптовій зміні геометрії навколишнього простору (наприклад, появі нових стелажів чи перекритті смуги руху)?

4. Опишіть бізнес-модель використання хабів переплетення (*Transfer Hubs*) на в'їздах до великих міст. Які інженерні, економічні та юридичні проблеми вирішує така схема, розділяючи маршрут безпілотного автопоїзда на магістральну частину (де працює робот) та міську дистрибуцію (де керує живий водій)?

5. У разі виникнення позаштатної ситуації, з якою автономні вантажівки не може впоратися самостійно, система робить запит на віддалене операторське керування (*Teleoperation*). З якими технічними ризиками (зокрема, затримкою передачі відеосигналу через стільникову мережу або загрозою перехоплення каналу зв'язку - *Hijacking*) пов'язаний цей процес, і як реалізується архітектура безпечного повернення контролю бортовому комп'ютеру?

Рекомендована література: [3, 4, 6, 9, 14]

Практична робота 4. Цифрові інструменти контролю логістичних процесів

Завдання для обговорення:

1. Визначити, як GPS-моніторинг змінює взаємодію «замовник - перевізник».
2. Побудувати логістичний сценарій із використанням Big Data - приклад ситуації, де прогноз трафіку або попиту змінив рішення про маршрут/час доставки.
3. Обговорити приклад автоматизованого складу: які функції виконує людина, а які – технології?

Динамічність сучасних ланцюгів постачання та жорсткі вимоги ринку до швидкості й точності доставки роблять традиційні методи менеджменту неефективними. Управління логістичними процесами «в ручному режимі» неминуче призводить до інформаційних розривів, затримок у прийнятті рішень та зростання операційних витрат через людський фактор. У цих умовах розробка, впровадження та оптимізація цифрових інструментів контролю стають головною передумовою забезпечення конкурентоспроможності транспортно-логістичних компаній, що підтверджує високу актуальність цього дослідження.

Вивчення цифрового інструментарію контролю полягає в переході від констатації фактів до предиктивного моніторингу в режимі реального часу. Сучасні інструменти контролю - це розгалужені екосистеми, які об'єднують датчики Інтернету речей (IoT), інтелектуальні системи відеоаналітики, хмарні сервіси класу TMS та WMS, а також мобільні додатки для водіїв та експедиторів. Завдяки автоматичному зчитуванню параметрів із CAN-шин автомобілів, контролю температурних режимів у рефрижераторах та відстеженню геозон (Geofencing), логісти отримують наскрізну видимість (End-to-End Visibility) кожного етапу руху вантажу. Це дозволяє миттєво реагувати на відхилення від маршруту, загрози псування чи крадіжки товару.

Особливого значення цифровізація контролю набуває для українського транспортного сектору під час інтеграції в єдину європейську митну та

логістичну мережу, де стандартом стає використання безпаперових технологій та автоматизованого аудиту. Для майбутніх фахівців з транспортних технологій глибоке розуміння архітектури цифрового контролю є критично важливим, оскільки саме навички роботи з цими інструментами дозволяють мінімізувати простої техніки, оптимізувати витрати палива та забезпечити бездоганну якість логістичного сервісу.

Теми для рефератів/презентацій

1. Інтеграція бездротових BLE-міток (Bluetooth Low Energy) для поштучного контролю переміщення дорогоцінних вантажів всередині кузова.

2. Цифровий контроль цілісності вантажу: використання розумних запірно-пломбувальних пристроїв з GPS-модулями та датчиками розтину.

3. Моніторинг критичних прискорень та ударів (Shock Monitoring) під час транспортування крихкого обладнання за допомогою IoT-акселерометрів.

4. Хмарні сервіси класу Control Tower (Диспетчерські вежі): консолідація інформаційних потоків від різних підрядників в одному інтерфейсі.

5. Контроль мікроклімату в кабіні та кузові: інтеграція датчиків світла, тиску та вологості в єдину систему моніторингу збереження вантажу.

6. Цифрові інструменти виявлення та запобігання зливу палива: порівняльний аналіз даних штатного бортового комп'ютера та ємнісних датчиків датчиків рівня палива.

7. Автоматизований аудит логістичних витрат (Freight Audit and Payment) за допомогою інтелектуального розпізнавання первинних документів.

8. Цифрові методи контролю транзитного часу та виявлення несанкціонованих зупинок на основі аналізу історичних треків руху.

9. Боротьба з «лівими» рейсами та махінаціями з одометром: інструменти криптографічного контролю та звірки мотогодин.

10. Інтелектуальні системи відеоаналітики (DMS — Driver Monitoring System): цифровий контроль використання пасків безпеки, паління та відволікання водія на смартфон.

11. Цифровий контроль сліпих зон важкого автопоїзда за допомогою радарів та систем кругового огляду 360°.
12. Автоматичне розпізнавання державних номерних знаків (ANPR) та інтеграція цих даних із системами управління доступом на терміналах.
13. Аналіз телеметричних даних ДТП («чорні скриньки» вантажівок): інструменти реконструкції подій для юридичного захисту перевізника.
14. Інструменти Yard Management (YMS): цифрова диспетчеризація руху транспорту по території великого логістичного центру.
15. Мобільні додатки для водіїв як інструмент оперативного контролю статусу виконання замовлення (Proof of Delivery - PoD).
16. Інтеграція систем управління складом (WMS) та транспортом (TMS) через API для ліквідації інформаційних розривів.
17. Електронні черги на завантаження (E-booking): інструменти оптимізації роботи складських воріт та ліквідації простоїв техніки.
18. Аналітичні дашборди (BI — Business Intelligence) в логістиці: проектування ключових метрик для операційного директора автопідприємства.
19. Система «Шлях» та цифрові інструменти моніторингу міжнародних перевезень в умовах воєнного стану та прикордонного контролю.
20. Інтеграція національних логістичних сервісів із загальноєвропейською системою eFTI (електронна інформація про вантажні перевезення).

Питання для самостійного контролю

1. Під час аналізу рейсу магістрального тягача DAF XF диспетчер помітив розбіжність: дані штатного бортового комп'ютера (через CAN-шину) показують витрату 30 л/100 км, а встановлений у баку ємнісний датчик рівня палива (ДРП) зафіксував одноразове падіння рівня, схоже на злив 50 літрів, хоча за GPS-треком зупинок не було. Які технічні чи експлуатаційні фактори (наприклад, несправність датчика, коливання палива на рельєфі чи маніпуляції з паливною системою) можуть викликати таку похибку смарт-систем контролю?

2. Чому проста наявність сучасної системи управління транспортом (TMS) та автоматизованої системи управління складом (WMS) на підприємстві не гарантує наскрізного контролю логістичного ланцюга? З якими інформаційними розривами та затримками передачі даних через API стикається компанія, якщо ці дві цифрові платформи не синхронізовані в режимі реального часу?

3. Мобільний додаток водія зафіксував статус Proof of Delivery (PoD) за допомогою електронного підпису клієнта та фотографії розвантаженого товару на рампі. Проте замовник виставив претензію про нестачу однієї палети. Які додаткові цифрові інструменти контролю (наприклад, дані з геозон Geofencing, часові мітки Control Tower або логі розумних пломб) повинен залучити логіст для доведення правоти перевізника в арбітражі?

4. При управлінні рухом транспорту на території великого ТЛЦ за допомогою системи Yard Management, автоматика розподіляє машини по розвантажувальних воротах (доках). Які непередбачувані динамічні фактори з боку складської логістики (наприклад, затримка сортування, поломка техніки на рампі) можуть порушити роботу алгоритму електронної черги, і як цифрова система має адаптувати пріоритети в'їзду вантажівок?

5. Інтелектуальна система відеоаналітики DMS (Driver Monitoring System) безперервно контролює напрямок погляду та міміку водія вантажівки за допомогою ШІ-камери в кабіні. Яким чином алгоритм смарт-контролю диференціює звичайний поворот голови водія в бік дзеркала заднього виду від небезпечного відволікання на екран смартфона або ознак мікросну (засинання за кермом)?

Рекомендована література: [4, 5, 7, 10, 15]

Практична робота 5. Енергетичні альтернативи у вантажних перевезеннях

Завдання для обговорення:

1. Порівняти ефективність електровантажівок та водневого транспорту для доставки між Києвом і Львовом.
2. Створити план розвитку зарядної інфраструктури в умовному логістичному центрі.
3. Обговорити: чи доцільно впроваджувати енергетичні смарт-мережі в Україні зараз?

Сучасний сектор вантажних автомобільних перевезень опинився перед необхідністю глобальної технологічної революції. Традиційне домінування дизельних двигунів внутрішнього згоряння суперечить жорстким міжнародним екологічним нормативам (зокрема стандарту Euro-7 та стратегії Net-Zero) та створює високу залежність логістичного бізнесу від коливань цін на нафтопродукти. У цих умовах пошук, обґрунтування та впровадження енергетичних альтернатив для комерційного транспорту стає визначальним фактором виживання та розвитку світової логістичної інфраструктури, що зумовлює високу актуальність цієї теми.

Актуальність дослідження альтернативних джерел енергії у вантажних перевезеннях полягає в аналізі технологічної та економічної доцільності заміни дизеля на різних типах маршрутів. Якщо для міської логістики «останньої милі» використання легких акумуляторних електровантажівок (BEV) уже є комерційно вигідним, то для магістральних перевезень важкими тягачами на великі відстані пряма електрифікація стикається із серйозними бар'єрами: критичною вагою батарей, тривалим часом заряджання та обмеженнями енергомереж. Це змушує інженерів та логістів розглядати ширший спектр альтернатив: від водневих паливних елементів (FCEV) та використання синтетичних видів палива (e-fuels) до відновлюваного біодизеля чи скрапленого біометану (Bio-LNG).

Особливої ваги дослідження альтернативної енергетики набуває в контексті стратегічного планування та диверсифікації ризиків українських

автопідприємств. Інтеграція українського бізнесу в європейські логістичні ланцюги вимагатиме від майбутніх інженерів транспортних технологій глибоких знань архітектури альтернативних силових установок, розуміння специфіки розбудови заправної інфраструктури та вміння математично моделювати повну вартість володіння «зеленим» автопарком. Проектування таких систем є ключовим кроком до створення екологічно стійкої та енергетично незалежної транспортної системи майбутнього.

Теми для рефератів/презентацій

1. Водневі паливні елементи (FCEV) проти водневих двигунів внутрішнього згоряння (H₂-ICE): порівняльний інженерний аналіз для магістральних тягачів.

2. Проблеми зберігання та транспортування водню на борту автомобіля: аналіз безпеки композитних балонів під над високим тиском.

3. Кріогенний рідкий водень (LH₂) в автомобільній логістиці: перспективи та виклики використання у надважких перевезеннях.

4. Інфраструктурні бар'єри розбудови мережі водневих заправних станцій (HRS) на міжнародних транспортних коридорах TEN-T.

5. Вплив чистоти водневого палива на деградацію протонобмінних мембран у силових установках комерційного транспорту.

6. Еволюція хімічного складу батарей для комерційного транспорту: порівняння LFP (літій-залізо-фосфатних) та NMC (нікель-марганець-кобальтових) акумуляторів за критерієм ресурсу та ваги.

7. Технологія мегаватної зарядки (MCS — Megawatt Charging System): технічні вимоги до бортової архітектури вантажівки та локальних енергомереж.

8. Вплив швидкої зарядки високими струмами на швидкість деградації тягових акумуляторів магістральних електротраків.

9. Концепція динамічної зарядки в русі (Electric Road Systems): аналіз контактних ліній та індукційних доріг для вантажівок.

10. Проектування систем термоменеджменту (охолодження та підігріву) тягових батарей вантажівок для роботи в екстремальних кліматичних умовах.
11. Скраплений біометан (Bio-LNG) як паливо для міжрейсових перевезень: технологічний цикл від отримання з органічних відходів (зокрема пташиного посліду чи відходів агросектору) до спалювання в ДВС.
12. Порівняльний аналіз енергетичної щільності стисненого (CNG) та скрапленого (LNG) природного газу в контексті запасу ходу вантажної техніки.
13. Використання відновлюваного біодизеля (HVO — гідроочищена рослинна олія): перехід на зелене паливо без модернізації наявного дизельного автопарку.
14. Синтетичні види палива (e-fuels): хімічний синтез за допомогою CO₂ з атмосфери та перспективи збереження класичних ДВС.
15. Гібридні силові установки важкого класу (HEV/PHEV): стратегії керування потоками енергії при русі складним рельєфом.
16. Рекуперація кінетичної енергії гальмування у важких автопоїздах: використання суперконденсаторів та мотор-колів на осях напівпричепи.
17. Інтеграція сонячних панелей в дахові конструкції напівпричепів-рефрижераторів для автономного живлення кліматичних установок.
18. Використання термоелектричних генераторів (ТЕГ) для утилізації тепла вихлопних газів дизельних та газових двигунів вантажівок.
19. Пневматичні та гідравлічні системи акумулювання енергії для розвізних міських вантажівок.
20. Аналіз життєвого циклу (LCA - Life Cycle Assessment) електровантажівок: оцінка реального екологічного сліду від видобутку літію до утилізації батареї.

Питання для самостійного контролю

1. Енергетична щільність та корисне навантаження (BEV): Відомо, що сучасна літій-іонна батарея має значно нижчу щільність енергії на одиницю ваги порівняно з дизельним паливом. Яким чином збільшення маси тягового

акумулятора магістрального електротрака (наприклад, вагою 4–5 тонн для забезпечення запасу ходу в 500 км) впливає на корисну вантажопідйомність автопоїзда, і які законодавчі преференції щодо максимальної дозволеної маси діють у країнах ЄС для компенсації цього дефіциту?

2. Кінетика паливних елементів (FCEV) проти H₂-ICE: Чому для міжрейсових вантажівок великої дальності ККД силової установки на водневих паливних елементах (FCEV) є вищим у режимі стабільного трасового руху, ніж у водневого двигуна внутрішнього згоряння (H₂-ICE)? При цьому, які фізико-хімічні фактори (зокрема деградація мембрани через чистоту водню та пікові теплові навантаження) змушують автовиробників продовжувати розробку саме водневих ДВС?

3. Уявіть логістичний термінал, де одночасно на експрес-зарядку за стандартом MCS (Megawatt Charging System) стає 10 магістральних електровантажівок, кожна з яких споживає потужність близько 1,2 МВт. З якими критичними викликами стикається локальна енергосистема підприємства, і які технології (наприклад, буферні накопичувачі енергії BESS чи смарт-дистрибуція струму) допомагають уникнути колапсу мережі?

4. У чому полягає принципова різниця з інженерної точки зору між переведенням великого дизельного автопарку на відновлюваний біодизель (HVO) та на скраплений біометан (Bio-LNG)? Яке з цих паливних рішень вимагає нульових капітальних інвестицій у модернізацію паливної системи двигунів, а яке - повної заміни інфраструктури зберігання палива на борту (кріобалони) та зміни циклу роботи ДВС?

5. Чому при оцінці екологічності вантажного транспорту за методом LCA (Life Cycle Assessment) електровантажівка на акумуляторах (BEV) на етапі виробництва може мати значно більший вуглецевий слід, ніж класична дизельна вантажівка? Від яких саме параметрів структури енергобалансу країни (генерація з вугілля/газу проти АЕС та ВДЕ), де експлуатуватиметься електротрак, залежить точка його «екологічної окупності» (break-even point) під час роботи на маршруті?

Рекомендована література: [1, 5, 8, 11, 15]

Практична робота 6. Цифрова взаємодія транспортних систем: можливості V2X

Завдання для обговорення:

1. Визначити, як V2X змінює логістику: 2–3 приклади.
2. Побудувати схему обміну даними між вантажівкою, інфраструктурою та центром управління.
3. Визначити основні кіберзагрози для логістичних IT-систем та запропонувати базові заходи захисту.

Сучасний етап розвитку інтелектуальних транспортних систем (ITS) характеризується переходом від ізольованого управління окремими автомобілями до створення єдиного інформаційного простору. У цьому контексті концепція цифрової взаємодії V2X (Vehicle-to-Everything) виступає базовим фундаментом для побудови безпечного та оптимізованого трафіку майбутнього. Впровадження технологій зв'язку нового покоління (C-V2X) дозволяє перетворити кожен транспортний засіб на активне джерело та споживач даних у реальному часі, що кардинально змінює підходи до організації дорожнього руху та логістики, роблячи дослідження цих можливостей надзвичайно своєчасним.

Актуальність вивчення потенціалу V2X зумовлена необхідністю вирішення глобальних проблем аварійності, заторів та екологічного навантаження на інфраструктуру. Технологія відкриває безпрецедентні можливості: прямий обмін даними між автомобілями (V2V) дозволяє миттєво реагувати на екстрене гальмування попереду, взаємодія з інфраструктурою (V2I) оптимізує роботу світлофорних об'єктів за принципом «зеленої хвилі», а зв'язок з пішоходами (V2P) мінімізує ризик наїздів у сліпих зонах. Для логістичного сектору це означає вихід на новий рівень автоматизації - від точного розрахунку часу прибуття (ETA) до практичної реалізації безпілотних колон (Platooning) магістральних тягачів на зразок MAN чи DAF.

Особливого значення дослідження набуває зараз, коли світова індустрія стандартизує протоколи бездротового зв'язку ультранизької затримки (Ultra-Reliable Low-Latency Communications). Для майбутніх фахівців з транспортних технологій розуміння архітектури V2X, методів захисту даних від кібератак та алгоритмів інтеграції бортових систем із хмарними TMS-платформами є критичною вимогою, адже саме ці цифрові інструменти визначатимуть архітектуру логістичних систем найближчого десятиліття.

Питання для самостійного контролю

1. Порівняльний аналіз стандартів C-V2X (стільниковий зв'язок) та DSRC (виділений зв'язок малої дальності): переваги та обмеження для комерційних автопарків.

2. Роль мереж 5G/6G у забезпеченні ультранизької затримки (URLLC) для систем екстреного гальмування V2V.

3. Крайові обчислення (Edge Computing) в інфраструктурі V2I: розподіл навантаження між бортовим комп'ютером автомобіля та дорожніми смарт-модулями.

4. Протоколи стандартизації повідомлень в системах V2X: архітектура побудови кооперативної обізнаності (CAM) та базових повідомлень про безпеку (BSM).

5. Проблема «мертвих зон» радіозв'язку в умовах складної геометрії доріг (тунелі, гірські серпантини): методи забезпечення безперебійного V2X-сигналу.

6. Динамічне формування безпілотних вантажних колон (Platooning) на базі V2V-зв'язку: алгоритми синхронізації прискорень та гальмувань.

7. Кооперативний адаптивний круїз-контроль (C-ACC): математичне моделювання щільності потоку при прямій цифровій взаємодії машин.

8. Попередження про зіткнення на перехрестях (IMA) через V2V-канали в умовах обмеженої видимості для водія.

9. Цифровий обмін даними про траєкторію руху автомобілів під час маневру обгону на двосмугових магістралях.

10. Передача сенсорної інформації (Sensor Sharing) між безпілотниками як метод розширення зони сприйняття «крізь» автомобілі попереду.
11. Оптимізація проїзду регульованих перехресть за технологією GLOSA (інформування про оптимальну швидкість для «зеленої хвилі»).
12. Динамічне управління пріоритетом проїзду для громадського та екстреного транспорту на базі V2I-запитів.
13. Інтеграція дорожніх метеостанцій із бортовими системами авто (V2I) для автоматичного коригування безпечної дистанції.
14. Технології V2N (Vehicle-to-Network) для предиктивного планування маршрутів мультимодальних логістичних операторів.
15. Автоматизоване зчитування дорожніх знаків та дорожньої розмітки через цифрову взаємодію з інфраструктурними мітками.
16. Криптографічний захист та інфраструктура відкритих ключів (PKI) у системах кооперативного керування транспортом.
17. Взаємодія V2P (Vehicle-to-Pedestrian): алгоритми захисту пішоходів та велосипедистів за допомогою інтеграції їхніх смартфонів у загальну ITS.
18. Анонімізація даних водіїв у мережах V2X: баланс між безпекою дорожнього руху та приватністю особистої інформації.
19. Концепція V2G (Vehicle-to-Grid): комерційний електротранспорт як мобільний елемент балансування міських енергомереж.
20. Трансформація бізнес-моделей страхового бізнесу під впливом використання детальних логів V2X-взаємодії при розслідуванні ДТП.

Питання для самостійного контролю

1. Чому для реалізації функцій критичної безпеки в реальному часі (наприклад, екстрене гальмування автомобіля попереду — V2V) пріоритет віддається протоколам прямого зв'язку типу *PC5/Sidelink*, а не передачі даних через класичні базові станції стільникового оператора (V2N)? Які обмеження затримки сигналу (Latency) тут діють?

2. Коли три магістральні тягачі рухаються в автономній колоні (*Platooning*), вони використовують технологію спільного використання сенсорів (*Sensor Sharing*). Що відбудеться з алгоритмом безпеки другого і третього автомобіля, якщо на першій машині раптово вийде з ладу фронтальний лідар, але зв'язок *V2V* продовжуватиме працювати без затримок? Як смарт-система перерозподілить "цифровий зір" усередині колони?

3. В архітектурі *V2X* кожен автомобіль безперервно надсилає базові повідомлення про безпеку (*BSM*). Яким чином інфраструктура відкритих ключів (*PKI*) дозволяє бортовому комп'ютеру вашої вантажівки за мілісекунди перевірити, що сигнал «Попереду ожеледь» надійшов від реального автомобіля, а не від хакера, який здійснює атаку типу *Sybil* (генерацію сотень фальшивих транспортних засобів для блокування дороги)?

4. Система *V2I* (*Vehicle-to-Infrastructure*) транслює на бортовий комп'ютер автомобіля дані алгоритму *GLOSA* (рекомендація швидкості для в'їзду на зелене світло). Які параметри, окрім часу до зміни фази світлофора, повинна враховувати система керування важкого напівпричепа, щоб розрахувати цю швидкість правильно і уникнути зайвого гальмування та розгону, що перевищують норми витрати палива?

5. При інтеграції комерційного електропарку в міську енергомережу за технологією *V2G*, автотранспортне підприємство може продавати надлишок енергії з акумуляторів назад у мережу під час пікових навантажень. Який головний інженерно-економічний ризик для власника автопарку тут прихований, і як смарт-система керування батареєю (*BMS*) має балансувати між отриманням прибутку від енергомережі та збереженням ресурсу техніки?

Рекомендована література: [2, 6, 9, 12, 14]

Практична робота 7. Логістичні хаби в цифрових містах

Завдання для обговорення:

1. Проаналізувати приклад смарт-порту (наприклад, Гамбург, Роттердам): які інновації впроваджено?
2. Обговорити, як AI та IoT допомагають скоротити затори в місті.
3. Сформувати перелік показників для оцінки ефективності смарт-логістичного рішення у місті.

Стрімка урбанізація та значне зростання електронної комерції (e-commerce) кардинально змінюють просторову та технологічну структуру сучасних мегаполісів. У концепції «розумного міста» (Smart City) класичні складські комплекси на периферії вже не здатні задовольнити жорсткі вимоги клієнтів щодо швидкості доставки, особливо в межах концепції Quick Commerce (доставка до години). Це зумовлює трансформацію традиційної інфраструктури та винесення інтелектуальних логістичних хабів безпосередньо в міське середовище, що робить дослідження їхнього функціонування критично важливим для транспортної галузі.

Важливість дослідження логістичних хабів у цифрових містах полягає в необхідності розв'язання гострого протиріччя: як нарощувати обсяги доставок «останньої милі» (Last Mile), не перевантажуючи при цьому й без того складний міський трафік та не погіршуючи екологічний стан. Сучасний міський хаб - це не просто склад, а високотехнологічний цифровий вузол, де сходяться потоки даних Big Data, алгоритми для динамічного перевантаження та IoT-інфраструктура. Організація таких об'єктів вимагає впровадження мікро-фулфілмент центрів, інтеграції з мережами поштоматів, використання екологічного транспорту (електровелосипедів, легких електровантажівок) та систем предиктивного розподілу товарів на основі аналізу купівельного попиту в конкретному районі.

Особливого значення ця тема набуває в контексті повоєнного відновлення та модернізації українських міст, де відбуватиметься інтеграція європейських

стандартів мобільності. Розробка та оптимізація алгоритмів взаємодії між міськими смарт-хабами, інтелектуальними транспортними системами (ITS) та диспетчерськими центрами є ключовим завданням для сучасних інженерів-логістів, оскільки від цього залежить не лише зниження собівартості логістичних операцій, а й загальна життєздатність та комфорт цифрового міста майбутнього.

Теми для рефератів/презентацій

1. Мікро-фулфілмент центри (Micro-fulfillment centers): технологія інтеграції складів ультрамалого формату в житлову забудову міста.
2. Трансформація підземних просторів та паркінгів мегаполісів у нічні логістичні мікро-хаби.
3. Розумні зони завантаження/розвантаження (Smart Loading Zones): динамічне бронювання паркомісць для комерційного транспорту через мобільні додатки.
4. Концепція "Dark Stores" та "Dark Kitchens": логістичні моделі та їхній вплив на трафік у спальних районах цифрового міста.
5. Проектування мультимодальних міських вузлів для суміщення пасажирського транспорту та вантажних потоків експрес-доставки.
6. Предиктивне проектування запасів у міських хабах (Predictive Staging) на основі прогнозного аналізу Big Data споживчого попиту.
7. Автоматизоване сортування на базі AGV-роботів в умовах дефіциту площі міських складів.
8. Цифрові двійники міської логістичної мережі (Digital Twins): моделювання реакції мікро-хабів на дорожні затори та масові заходи.
9. Інтеграція міських логістичних вузлів з муніципальними інтелектуальними транспортними системами (ITS).
10. Інфраструктура зарядних станцій при міських хабах для комерційного електротранспорту: виклики для енергомережі міста.
11. Логістика "останнього метра" (Last Meter): використання вантажних електровелосипедів (E-cargo bikes) та смарт-контейнерів у пішохідних зонах.

12. Екологічний аналіз концепції "15-хвилинного міста": роль мікро-хабів у зниженні вуглецевого сліду (CO₂).
13. Управління шумовими та екологічними обмеженнями під час роботи міських хабів у нічний час.
14. Розумна утилізація та зворотна логістика тари й пакування (Reverse Logistics) через мережу міських мікро-хабів.
15. Автоматизовані поштоматні хаби (Parcel Locker Hubs) як центри районної логістики: оптимізація мережі розташування.
16. Роботи-кур'єри (Sidewalk Delivery Robots): виклики інтеграції в пішохідну інфраструктуру та взаємодія з міськими хабами.
17. Дронопорт як елемент дахової інфраструктури сучасного логістичного хабу: технічні та регуляторні бар'єри доставки БПЛА в місті.
18. Мобільні логістичні хаби (Mobile Hubs): використання вантажівок-маток як рухомих точок розподілу для піших кур'єрів.
19. Оптимізація безконтактної доставки (Contactless Delivery) в екосистемі розумного будинку (Smart Home).
20. Концепція "Шерингової логістики" (Shared Logistics): спільне використання площ міських хабів конкуруючими операторами доставки.

Питання для самостійного контролю

1. Чому концепція мікро-фулфілмент центрів (Micro-fulfillment centers) всередині житлових кварталів є економічно виправданою, попри те, що вартість оренди 1 кв. метра комерційної площі в центрі міста у рази вища, ніж на великих приміських ТЛЦ? Які саме статті витрат у ланцюгу постачання цим оптимізуються?

2. Впровадження вантажних електровелосипедів (E-cargo bikes) та мобільних хабів зумовлює розвантажити вулиці. Проте, з якими новими викликами стикається міська інфраструктура (пішохідні зони, велодоріжки, тротуари) та муніципальні правила безпеки, коли сотні таких транспортних засобів одночасно виїжджають на маршрути доставки?

3. Опишіть алгоритм взаємодії розумної зони завантаження (Smart Loading Zone) з бортовим комп'ютером комерційного авто. Що має відбутися в системі керування міським трафіком, якщо кур'єрська вантажівка затримується в дорозі на 10 хвилин, а її зарезервоване вікно для розвантаження біля мікро-хабу ось-ось закінчиться?

4. Які технологічні та юридичні бар'єри виникають, коли два конкуруючі оператори експрес-доставки вирішують спільно використовувати площу та сортувальні лінії одного міського смарт-хабу? Як у такому разі розділяються потоки даних у спільній хмарній TMS?

На основі яких саме даних у системі "Smart City" можливо точно спрогнозувати, що в п'ятницю ввечері у конкретному спальному районі міста попит на певну категорію товарів (наприклад, готову їжу чи специфічну електроніку) зросте на 40%? Як це допомагає хабу виконати норматив доставки "Quick Commerce" (до 15–30 хвилин)?

Рекомендована література: [3, 7, 10, 13, 15]

Практична робота 8. Виклики цифрової логістики майбутнього

Завдання для обговорення:

1. Побудувати карту трендів на найближчі 5 років у смарт-логістиці.
2. Обговорити законодавчі бар'єри в Україні для впровадження автономного транспорту.
3. Створити свій «кар'єрний маршрут» у сфері смарт-логістики: які знання, навички, інструменти будуть потрібні?

Сучасний етап розвитку глобальної економіки супроводжується стрімкою трансформацією класичних ланцюгів постачання у високотехнологічні цифрові екосистеми. Концепція «Логістики 4.0», яка ще нещодавно сприймалася як футуристичний тренд, сьогодні диктує жорсткі умови виживання на ринку перевезень. Перехід від лінійного управління до інтегрованих платформ, що керуються штучним інтелектом, IoT-пристроями та Big Data, створює не лише нові можливості, а й безпрецедентні виклики для транспортної галузі.

Аналіз досліджень, щодо викликів цифрової логістики майбутнього зумовлена необхідністю подолання технологічного розриву між стрімким розвитком смарт-систем та реальними можливостями транспортної інфраструктури. Сьогодні логістичний сектор стикається із серйозними бар'єрами: відсутністю єдиних протоколів кібербезпеки для автономного транспорту, критичною вразливістю хмарних TMS-платформ перед хакерськими атаками та складністю інтеграції різнорідних даних із CAN-шин автомобілів у загальнокорпоративні системи управління.

Окремим викликом є адаптація українського транспортного бізнесу до європейських цифрових стандартів, зокрема впровадження електронних накладних (e-CMR) та інтелектуальних систем моніторингу митних вантажів у реальному часі. У цих умовах класичні підходи до оптимізації маршрутів чи управління автопарком втрачають ефективність. Майбутнє логістики залежить від здатності інженерів та аналітиків проектувати гнучкі, стійкі до кіберзагроз алгоритми, які здатні миттєво реагувати на динамічні зміни в ланцюгах постачання. Зазначене робить комплексний аналіз ризиків та викликів

цифровізації ключовим елементом підготовки сучасних фахівців з транспортних технологій.

Теми для рефератів/презентацій

1. Предиктивний аналіз технічного стану автопарку (Predictive Maintenance) на основі IoT-датчиків.

2. Технології розпізнавання втоми та концентрації водія (ADAS) на магістральних маршрутах.

3. Проблеми стандартизації та сумісності телематичних платформ різних виробників (MAN, DAF, Volvo) в одному автопарку.

4. Динамічна маршрутизація в реальному часі: мінімізація впливу заторів та погодних умов за допомогою AI.

5. Smart-менеджмент складських вікон (Slot Management): автоматизація взаємодії перевізника та ТЛЦ.

6. Використання прогнозної аналітики для розрахунку точного часу прибуття (ETA) у міжнародному сполученні.

7. Автоматизація управління мультимодальними перевезеннями за участю залізничного та автомобільного транспорту.

8. Впровадження блокчейн-технологій для забезпечення прозорості ланцюгів постачання та смарт-контрактів.

9. Перехід на e-CMR (електронні накладні): технологічні виклики та правові бар'єри в Україні та ЄС.

10. Цифрові двійники (Digital Twins) у логістиці: моделювання роботи великих терміналів та портів.

11. Розумний вагогабаритний контроль (WIM — Weigh-in-Motion): вплив на збереження дорожньої інфраструктури та автоматизацію штрафів.

12. Інтернет речей (IoT) у «холодовому ланцюгу»: безперервний моніторинг ультранизьких температур при доставці фармпродукції.

13. Технології Geofencing (геозон): автоматичний контроль безпеки та несанкціонованого відкриття кузова.

14. Цифровізація управління зворотними логістичними потоками (Reverse Logistics) та сервісним обслуговуванням.

15. Розумне маркування вантажів: порівняльний аналіз RFID, NFC та QR-технологій у сучасній дистрибуції.

16. Смарт-моніторинг небезпечних вантажів (ADR): автоматичне сповіщення екстрених служб у разі ДТП чи витоку.

17. Виклики впровадження безпілотного комерційного транспорту на дорогах загального користування.

18. Технологія Плутонінгу (Platooning): рух безпілотних вантажівок у колоні як спосіб економії палива.

19. Смарт-технології для оптимізації міської логістики (City Logistics) та концепція «останньої милі».

20. Краудсорсингові платформи в логістиці (Uber-ефект): трансформація ринку експедирування під впливом шерингової економіки.

Питання для самостійного контролю

1. Чому зчитування даних про витрату палива через CAN-шину (FMS-роз'єм) магістрального тягача є точнішим, ніж використання класичних проточних датчиків чи ультразвукових датчиків рівня палива в баку? Які системні похибки мінімізує цей смарт-підхід?

2. Уявіть, що ви проектуєте систему управління для колони безпілотних вантажівок (*Platooning*). Які критичні вразливості з'являються в архітектурі передачі даних V2V (Vehicle-to-Vehicle), якщо хакери здійснять атаку типу «підміна GPS-координат» (*GPS spoofing*), і як смарт-система має зреагувати на це в реальному часі?

3. Які змінні фактори (окрім заторів на дорогах) повинен враховувати алгоритм штучного інтелекту в TMS-платформі, щоб забезпечити точність розрахунку часу прибуття (ETA) в межах 15-хвилинного «вікна» при доставці вантажів у щільній міській забудові (*City Logistics*)?

4. Під час транспортування медикаментів у мультитемпературному напівпричепі датчик вологопоглинальності зафіксував критичне утворення конденсату в ізотермічній зоні №2, хоча температурний логгер показує норму (+4 °C). До яких логістичних та фінансових наслідків для перевізника призведе ігнорування цього смарт-сигналу?

5. Чому перехід на міжнародні електронні накладні (*e-CMR*) стикається з серйозними труднощами на практиці, незважаючи на очевидну технічну готовність інфраструктури (хмари, ЕЦП, смартфони у водіїв)? Який саме етап у ланцюгу взаємодії «відправник - перевізник - митниця - отримувач» є найбільш технологічно вразливим?

Рекомендована література: [1, 4, 8, 11, 14]

ВИСНОВКИ

У результаті виконання комплексу практичних робіт із дисципліни "Смарт-технології" було проведено всебічний науково-технічний аналіз сучасного стану та перспектив трансформації транспортно-логістичних систем під впливом концепції «Логістики 4.0/5.0». Системне дослідження архітектури інноваційних рішень дозволить сформувати цілісне розуміння того, що цифровізація галузі є не просто технологічним трендом, а базовою умовою підвищення її стійкості, безпеки та економічної ефективності.

Дослідження цифрових інновацій та інструментів предиктивного контролю доводить, що ліквідація інформаційних розривів між учасниками ланцюга постачання можлива лише за умови створення єдиного інформаційного простору (End-to-End Visibility). Інтеграція хмарних систем TMS і WMS через API, використання телематичних даних із CAN-шин, інтелектуальних систем DMS та смарт-пломб із GPS-модулями дозволяють мінімізувати прості техніки, оптимізувати витрати палива та забезпечити наскрізну прозорість операцій, що є критично важливим для арбітражних суперечок та доведення юридичної правоти перевізників.

Окрему увагу в практичних роботах приділено аналізу і дослідженням урбаністичної логістики та смарт-управлінню вантажопотоками. Встановлено, що в умовах щільної міської забудови та концепції Quick Commerce традиційні статичні маршрути є неефективними. Виходом із логістичного колапсу є впровадження інтелектуальних транспортних систем (ITS), алгоритмів динамічного бронювання бордюрного простору (Smart Loading Zones), предиктивного моделювання на основі Big Data, а також винесення мікро-фулфілмент центрів (Dark Stores) безпосередньо в житлові квартали. Це дозволяє оптимізувати доставку «останньої милі», переходячи на екологічну мікромобільність (E-cargo bikes), та інтегрувати комерційний флот у концепцію «Зеленого міста» (LEZ).

Аналіз безпілотних рішень (SAE Level 4/5) та технологій V2X (Vehicle-to-Everything) демонструють високу готовність закритих промислових зон до автоматизації, проте виявлено серйозні інженерні перешкоди на дорогах загального користування - зокрема вразливість перед «крайовими сценаріями» (Edge Cases) та кібератаками (GPS-spoofing). Розглянуто впровадження хабів перечеплення (Transfer Hubs) на в'їздах до міст та рух безпілотних вантажівок у колонах (Platooning) за допомогою ультранизької затримки зв'язку 5G/6G є найбільш перспективними кроками для магістральних сполучень.

На основі методології оцінки життєвого циклу (LCA) було детально проаналізовано енергетичні альтернативи дизелю. Оцінено рішення з використанням акумуляторного транспорту (BEV), його оптимальність для коротких міських маршрутів, тоді як водневі паливні елементи (FCEV), скраплений біометан (Bio-LNG) та відновлюваний біодизель (HVO) є безальтернативними для важких магістральних тягачів на великі відстані, хоча їх масштабування стримується відсутністю інфраструктури (MCS, HRS) та деградацією тягових систем.

Для України практична реалізація смарт-технологій, запуск автоматичного вагогабаритного контролю (WIM), перехід на електронні накладні (e-CMR) та інтеграція в європейську систему eFTI є стратегічним пріоритетом у процесі синхронізації національного транспортного сектора із загальноєвропейською мережею TEN-T. Отримані під час виконання робіт навички предиктивного аналізу, моделювання та проектування логістичних хабів складають основу професійних компетентностей сучасного інженера-логіста в умовах Індустрії 4.0/5.0.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Fesovets O., Strelko O., Berdnychenko Yu., Isaienko S., Pylypchuk O. Container Transportation by Rail Transport Within the Context of Ukraine's European Integration. Proceedings of 23rd International Scientific Conference «Transport Means 2019». 2019. P. 381–386.

2. 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.

3. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. Центральнотраїнський 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)

4. Кульова Д.О., Магопець С.О., Лівіцький О.М. Безпека дорожнього руху в Україні: оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. Центральнотраїнський 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)

5. Кульова Д.О. Застосування концептуального підходу ризик-менеджменту в сфері безпеки руху на транспорті. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2024. Вип. 10(41), ч.І. С. 261-269. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.261-269](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269)

6. Аулін В.В., Кульова Д.О., Варваров В.В. Виявлення, аналіз і прогнозування параметрів ризику безвідмовного навантаження готової продукції на транспортно-логістичному терміналі підприємства. Центральнотраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч.І. С. 263-271. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.263-271](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.263-271).

7. 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.

8. 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.

9. Wei L., Zheng X., Li Y., Li X., Liu L. Research on the impact effect of multimodal transport on domestic and international dual circulation: Evidence from China's railway and water transport. PLoS ONE. 2025. Vol. 20, Issue 4. Article e0319982. P. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319982>

10. Zhang Z., Jin J., Li S., Han Z., Wu Z., Xu X., Li Y., Peng T. Research review and development trend analysis of grain multimodal transport with a special emphasis upon China. Agriculture. 2026. Vol. 16. Article 592. P. 1-35. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture16050592>

11. Uddin M. M., Huynh N. Routing model for multicommodity freight in an intermodal network under disruptions. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. 2016. No. 2548. P. 71–80. DOI: <https://doi.org/10.3141/2548-09>

12. Jayant, Arvind, Mohammed Azhar, and Priya Singh. "Interpretive structural modeling (ISM) approach: a state of the art literature review." Int. J. Res. Mech. Eng. Technol 5.1 (2015): 15-21. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012010>

13. Huang X., Wang B., Wu C. Realizing Smart Safety Management in the Era of Safety 4.0: A New Method towards Sustainable Safety. Sustainability. 2022. Vol. 14, No. 21. P. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142113915>

14. Bhattacharya S., Jha H., Nanda R. Application of IoT and Artificial Intelligence in Road Safety. Proceedings of the 2022 IEEE International Conference (Kolkata, India February 24–26, 2022) Interdisciplinary Research in Technology and Management (IRTM). 2022. P. 1-5. DOI: [10.1109/IRTM54583.2022.9791529](https://doi.org/10.1109/IRTM54583.2022.9791529)

15. Bhargavi J., Ashwin B., Tagore L. Smart City Transportation Deep Learning Ensemble Approach for Traffic Accident Detection. International Scientific Journal of Engineering and Management. Vol. 4, Issue 2. 2025. P. 1-4. DOI: [10.55041/ISJEM02270](https://doi.org/10.55041/ISJEM02270)

Навчально-методичне видання

СМАРТ-ТЕХНОЛОГІЇ

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт
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.