

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління експлуатаційною роботою

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В
УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

УОМПЦ.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221 – ОПУТ – Д23
спеціальності 275/275.02 – Транспортні
технології (на залізничному транспорті)
(роботу виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)


(підпис)

Павло ТУРЗОВ

Керівник: ст. викладач, канд. техн. наук

Євгенія ХОДАКІВСЬКА

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

Катерина КРЯЧКО

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 18 слайдів презентації, 82 аркуша пояснювальної записки формату А4, що включає 13 рисунків, 13 таблиць, 52 літературних джерела.

Ключові слова: МУЛЬТИМОДАЛЬНІ ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ЦИФРОВІЗАЦІЯ, ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНІСТЬ.

Метою дослідження є удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації з урахуванням вимог інтероперабельності, з метою підвищення ефективності логістичних процесів, покращення взаємодії між видами транспорту та забезпечення стійкості транспортної системи.

Об'єктом дослідження є процес мультимодальних вантажних перевезень за участю залізничного транспорту.

Методи дослідження. Достовірність отриманих результатів і висновків забезпечена обраними методами дослідження. В роботі використано емпіричні та теоретичні методи. До емпіричних віднесено: порівняння, заміри, опис, а також методи обробки даних (кількісного та якісного аналізу), а до теоретичних: аналіз; синтез; системний підхід; аналогія; формалізація та моделювання.

Одержані висновки та їх новизна. Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні та реалізації концептуального підходу до удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації, що враховує як техніко-технологічні, так і інформаційні аспекти взаємодії між видами транспорту. У межах дослідження вперше запропоновано модель оптимізації мультимодального маршруту, яка враховує не лише економічні та часові параметри, а й рівень інтероперабельності, цифрової сумісності та стикових обмежень транспортних ланцюгів. Теоретичне значення має також систематизація факторів, що впливають на ефективність цифрових рішень у мультимодальній логістиці, зокрема таких, як час обробки інформації, рівень автоматизації контрольних процедур та адаптивність маршрутної структури.

Апробацію здійснено на міжнародній науково – практичній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» та студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ.

ABSTRACT

This qualification thesis includes 18 presentation slides and 82 pages of explanatory notes in A4 format, containing 13 figures, 13 tables, and 52 literature sources.

Keywords: MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORTATION, DIGITALIZATION, INTEROPERABILITY.

Purpose of the Study. The aim of this research is to improve the organization of multimodal freight transportation under digitalization conditions, considering interoperability requirements, in order to enhance the efficiency of logistics processes, improve intermodal coordination, and ensure the sustainability of the transport system.

Research Object. The process of multimodal freight transportation involving railway transport.

Research Methods. The reliability of the obtained results and conclusions is ensured by the selected research methods. The study utilizes both empirical and theoretical approaches. Empirical methods include comparison, measurement, description, and data analysis (quantitative and qualitative). Theoretical methods involve analysis, synthesis, systems approach, analogy, formalization, and modeling.

Findings and Scientific Novelty. The scientific novelty of this work lies in the justification and implementation of a conceptual approach to improving the organization of multimodal transportation in the context of digitalization, taking into account both technical-technological and informational aspects of intermodal interaction. Within the scope of the study, a novel optimization model for multimodal routing is proposed, which considers not only economic and time parameters but also the level of interoperability, digital compatibility, and connection constraints in transport chains.

The theoretical significance is supported by the systematization of factors influencing the effectiveness of digital solutions in multimodal logistics, such as data processing time, the degree of automation in control procedures, and the adaptability of route structures.

Dissemination of Research Results: The main results of the research were presented at the international scientific and practical conference "Intelligent Transport Technologies" and the student scientific and technical conference of UkrSURT.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління експлуатаційною роботою

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

 Тетяна БУТЬКО
«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Турзову Павлу Максимовичу

1 Тема роботи Удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації.

керівник Ходаківська Євгенія Володимирівна, канд. техн. наук, старший викладач
затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень
від 24 лютого 2025 року №04/25.

2 Строк подання студентом роботи 12 червня 2025р.

3 Вихідні дані до роботи Нормативні, експлуатаційні та економічні показники залізничного транспорту у сфері вантажних перевезень в період з 2019 по 2024 років, технологія організації мультимодальних вантажних перевезень за участю залізничного транспорту.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Теоретичні основи та нормативно-правове регулювання мультимодальних перевезень. 2 Аналіз стану та тенденцій розвитку мультимодальних перевезень в Україні. 3. Удосконалення мультимодальних перевезень за участю залізничного транспорту. 4. Визначення економічної доцільності впровадження цифрових рішень у мультимодальні перевезення. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу. 1. Мета та задачі дослідження. 2. Аналіз показників залізничного транспорту 3. Аналіз моделей взаємодії при організації мультимодальних перевезень. 4. Вирішення науково – прикладного завдання з удосконалення організації мультимодальних вантажних перевезень. 5. Техніко-економічне обґрунтування запропонованого удосконалення.

6 Консультанти окремих розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування запропонованого проектного рішення	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, к.е.н.		

7. Дата видачі завдання 18 вересня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Вступ	09.02.2025	
1 Теоретичні основи та нормативно-правове регулювання мультимодальних перевезень	25.02.2025	
2 Аналіз стану та тенденцій розвитку мультимодальних перевезень в Україні	20.03.2025	
3 Удосконалення мультимодальних перевезень за участю залізничного транспорту	29.04.2025	
4 Визначення економічної доцільності впровадження цифрових рішень у мультимодальні перевезення	25.05.2025	
Висновки	05.06.2025	
Оформлення роботи	10.06.2025	

Студент  Павло ТУРЗОВ
 Керівник  Євгенія ХОДАКІВСЬКА

Зміст

Вступ	8
1 Теоретичні основи та нормативно-правове регулювання мультимодальних перевезень	12
1.1 Поняття, сутність і класифікація мультимодальних перевезень	12
1.2 Основи нормативно-правового регулювання мультимодальних перевезень в Україні та світі	18
1.3 Цифровізація логістичних процесів: сучасні підходи та технології	24
1.4 Проблеми, бар'єри та перспективи розвитку мультимодальних перевезень	32
2. Аналіз стану та тенденцій розвитку мультимодальних перевезень в Україні	29
2.1 Оцінка вантажопотоків і стану мультимодальної транспортно-логістичної інфраструктури	29
2.2. Аналіз ефективності функціонування мультимодальних перевезень	31
2.3 . Впровадження цифрових технологій в організацію мультимодальних перевезень	33
2.4 Вивчення міжнародного досвіду цифрової організації мультимодальних перевезень та можливості його адаптації в Україні	39
3 Удосконалення мультимодальних перевезень за участю залізничного транспорту	45
3.1 Обґрунтування вибору методів оптимізації та моделювання мультимодальних вантажних перевезень	45
3.2 Побудова математичної моделі оптимізації маршрутів і вибору транспортних засобів при організації мультимодальних перевезень вантажів	49
3.3 Імітаційне моделювання функціонування мультимодального вузла (терміналу) за участю залізничного транспорту	55

					УОМПЦ.300.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Турзов			Удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Холаківська					6	82
Н. Контр.		Холаківська				УкрДУЗТ		
Затверд.		Бутько						

3.4. Ефективність застосування цифрових технологій для підтримки прийняття рішень	59
4 Визначення економічної доцільності впровадження цифрових рішень у мультимодальні перевезення	67
Висновки	76
Список використаних джерел	78

					УОМПЦ.300.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Актуальність теми. У сучасних умовах глобалізації, розвитку міжнародної торгівлі та інтеграції транспортних ринків мультимодальні перевезення набувають все більшого значення як ключовий елемент логістичних ланцюгів. Вони забезпечують безперервність транспортування вантажів і пасажирів за участі кількох видів транспорту, зберігаючи при цьому єдиний документарний і організаційний супровід. Однак ефективність функціонування мультимодальної системи значною мірою залежить від узгодженості інфраструктури, технологічної сумісності та рівня цифрової інтеграції її складових.

Особливої актуальності питання удосконалення мультимодальних перевезень набуває для України, яка прагне інтегруватися в європейський транспортний простір, забезпечити стійку логістику в умовах воєнного часу, а також реалізувати положення Угоди про асоціацію з ЄС. Водночас, існуючі виклики — фрагментарність нормативного поля, технічна несумісність між видами транспорту, відсутність єдиної цифрової платформи управління перевезеннями — істотно знижують конкурентоспроможність транспортної системи держави.

Цифровізація логістичних процесів розглядається як ключовий інструмент подолання існуючих бар'єрів. Вона дозволяє інтегрувати інформаційні потоки між учасниками мультимодальних перевезень, автоматизувати процеси координації, підвищити ефективність управлінських рішень та забезпечити прозорість і надійність логістичних операцій. Зокрема, застосування інтелектуальних транспортних систем, цифрового документообігу, модулів планування стиковок та алгоритмів оптимізації маршрутів створює передумови для якісного перетворення мультимодального сектора.

Таким чином, тема удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації є надзвичайно актуальною, оскільки відповідає стратегічним пріоритетам транспортної політики України, світовим трендам

логістичного розвитку та потребам підвищення ефективності функціонування транспортного комплексу в умовах швидкоплинного зовнішнього середовища.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано у відповідності до Стратегії акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019 - 2023 роки [1], Транспортної стратегії України на період до 2030 року [2], а також основним директивним документам АТ «Українська Залізниця».

Мета дослідження. Метою роботи є удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації з урахуванням вимог інтероперабельності, з метою підвищення ефективності логістичних процесів, покращення взаємодії між видами транспорту та забезпечення стійкості транспортної системи.

Задачі дослідження. Провести аналіз теоретичних основ, нормативних підходів та світового досвіду організації мультимодальних перевезень. Дослідити сучасний стан мультимодальних перевезень в Україні, виявити проблеми цифровізації та міжвідомчої координації. Розробити математичну модель оптимізації організації мультимодального маршруту з урахуванням цифрових рішень. Обґрунтувати та оцінити економічну ефективність впровадження цифрової системи управління мультимодальними перевезеннями.

Об'єкт дослідження. Процес мультимодальних вантажних перевезень за участю залізничного транспорту.

Предмет дослідження. Організація мультимодальних перевезень з урахуванням цифрових технологій та інтероперабельності між видами транспорту.

Методи дослідження. Достовірність отриманих результатів і висновків забезпечена обраними методами дослідження. В роботі використано емпіричні та теоретичні методи. До емпіричних віднесено: порівняння, заміри, опис, а також методи обробки даних (кількісного та якісного аналізу), а до теоретичних: аналіз; синтез; системний підхід; аналогія; формалізація та моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна роботи полягає в обґрунтуванні та реалізації концептуального підходу до удосконалення

організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації, що враховує як техніко-технологічні, так і інформаційні аспекти взаємодії між видами транспорту. У межах дослідження вперше запропоновано модель оптимізації мультимодального маршруту, яка враховує не лише економічні та часові параметри, а й рівень інтероперабельності, цифрової сумісності та стикових обмежень транспортних ланцюгів. Теоретичне значення має також систематизація факторів, що впливають на ефективність цифрових рішень у мультимодальній логістиці, зокрема таких, як час обробки інформації, рівень автоматизації контрольних процедур та адаптивність маршрутної структури.

Отримані результати дозволили удосконалити підхід до прийняття управлінських рішень у сфері мультимодальних перевезень шляхом поєднання класичних принципів логістичного планування з методами цифрового моделювання.

Практичне значення одержаних результатів. Одержані в роботі результати мають прикладне спрямування і можуть бути використані для підвищення ефективності організації мультимодальних перевезень на рівні транспортно-логістичних центрів, вузлових станцій і транспортних операторів. Запропонована модель оптимізації маршрутів дозволяє враховувати реальні технічні та часові обмеження, що існують у практиці стикування різних видів транспорту, а також забезпечує раціональний вибір логістичних рішень з урахуванням інтероперабельності та цифрової сумісності.

Результати дослідження можуть бути впроваджені в діяльність транспортних підприємств, які займаються плануванням міжнародних та внутрішніх перевезень, з метою автоматизації процедур погодження маршрутів, синхронізації розкладів і підвищення прозорості логістичних операцій. Крім того, окремі елементи розробленої моделі можуть бути адаптовані для використання у складі цифрових платформ управління транспортом, інформаційно-аналітичних модулів логістичних хабів, а також у системах підтримки прийняття рішень у сфері мультимодальної логістики.

Публікації. Відповідно до теми кваліфікаційної роботи опубліковано дві наукові роботи.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел.

В ході підготовки та виконання роботи автором була використана інформація, у тому числі текст, алгоритми, методики проведення аналізу, досліджень, визначення певних характеристик, параметрів та вихідних даних, розрахунків тощо, які містяться у джерелах [1 - 52], наведених у списку використаних джерел, а також інформація, отримана в результаті консультування з керівником роботи, науковими, науково-педагогічними працівниками та іншими особами, яка є неопублікованими авторськими напрацюваннями (найсучасніша інформація дослідницького, інноваційного характеру), дозволеними для використання автору цієї роботи виключно при виконанні тільки цієї дипломної роботи.

1 Теоретичні основи та нормативно-правове регулювання мультимодальних перевезень

1.1 Поняття, сутність і класифікація мультимодальних перевезень

У сучасній транспортній логістиці мультимодальні перевезення розглядаються як інтегрована форма транспортування, яка забезпечує безперебійну доставку вантажів двома або більше видами транспорту під відповідальністю єдиного оператора. Згідно з Законом України «Про мультимодальні перевезення» №1887-IX, мультимодальне перевезення вантажів — це перевезення двома або більше видами транспорту на основі єдиного договору, організоване під відповідальністю оператора мультимодальних перевезень [3].

Такий формат організації транспортування дає змогу скоротити час доставки, оптимізувати витрати, спростити документообіг та забезпечити гнучкість логістичного ланцюга. Головною відмінністю мультимодальних перевезень є наскрізний характер відповідальності — весь процес організовується та супроводжується одним суб'єктом, який несе юридичну та економічну відповідальність за вантаж на всьому шляху прямування.

Ключовими учасниками мультимодального перевезення є:

- оператор мультимодальних перевезень (організатор транспортування),
- замовник послуг (вантажовідправник або його представник),
- перевізники (як субпідрядники),
- митні та прикордонні служби,
- логістичні провайдери та термінальні комплекси.

Згідно з положеннями Конвенції ООН про міжнародні змішані перевезення вантажів 1980 року, одним з ключових елементів мультимодального перевезення є документ про мультимодальне перевезення, що засвідчує укладання договору

та фіксує всі етапи маршруту. Цей документ узагальнює функції товарно-транспортної накладної, коносаменту й транзитної декларації [4].

Сутність мультимодальних перевезень зображено на рисунку 1.1, де наведено типову логістичну схему доставки вантажу за участю кількох видів транспорту.



Рисунок 1.1 – Схема мультимодального перевезення з переходом між видами транспорту (залізничний, автомобільний, морський)

У цій схемі показано ключові точки зміни виду транспорту, контрольні пункти та учасників процесу. Перехід вантажу між транспортними видами відбувається на спеціалізованих інтермодальних терміналах або транспортно-логістичних центрах.

Класифікація мультимодальних перевезень дозволяє систематизувати їх за ключовими ознаками, що суттєво впливає на вибір логістичної стратегії, оптимізацію ресурсів і побудову операційних моделей. У сучасній транспортній практиці мультимодальні перевезення поділяють за такими основними критеріями:

1 За видом транспорту, який переважає в маршруті:

- Залізнично-автомобільні – домінуючим видом транспорту є залізничний, а початковий/кінцевий етап — автомобільний (найпоширеніший формат в Україні).

- Морсько-залізничні – для інтерконтинентальних перевезень, з використанням морського судноплавства та залізничного плеча.

- Річково-залізничні – характерні для внутрішніх або транскордонних перевезень із залученням внутрішніх водних шляхів (наприклад, річка Дунай).

- Повітряно-автомобільні – переважно для швидкої доставки дорогих або специфічних вантажів (фармацевтика, електроніка).

Таке групування є базовим у транспортно-логістичній документації [5, 6].

2 За просторовою структурою маршруту:

- Міжнародні мультимодальні перевезення — охоплюють два або більше держав, регулюються міжнародними договорами, такими як КОТІФ чи CMR;

- Внутрішньодержавні мультимодальні перевезення — організуються в межах однієї країни, але з використанням кількох видів транспорту.

Особливої актуальності набувають міжнародні мультимодальні перевезення у межах Європейського транспортного коридору №9, що перетинає Україну [7].

3 За рівнем інтеграції логістичних ланок:

- Інтермодальні – переміщення вантажів у єдиній вантажній одиниці (контейнері) без перевантаження при зміні виду транспорту;

- Комбіновані – передбачають перевезення вантажних автомобілів разом із кузовами або причепами на залізничних платформах;

- Супермодальні – перевезення з високим ступенем автоматизації, що інтегрують цифрові платформи управління (TMS, IoT тощо) [8].

4 За типом організаційної моделі:

- Door-to-door — доставка «від дверей до дверей», де один оператор організовує весь процес;

- Terminal-to-terminal — організований трансфер між логістичними хабами;

- Hub-and-spoke — вантаж концентрується в одному центрі, а потім розподіляється до точок призначення.

На рисунку 1.2 наведено узагальнену класифікацію мультимодальних перевезень за основними критеріями.



Рисунок 1.2 – Класифікація мультимодальних перевезень за основними критеріями та ознаками

Основні поняття: документ мультимодального перевезення, термінали, цифрова взаємодія. Рациональна організація мультимодальних перевезень неможлива без чіткого розуміння нормативно визначених термінів, що регламентують ключові елементи процесу: документальне оформлення, термінальну інфраструктуру та інформаційну взаємодію між учасниками.

1. Документ мультимодального перевезення

Згідно зі статтею 1 Закону України «Про мультимодальні перевезення» [3]:

«Документ мультимодального перевезення – наскрізний транспортний документ установленної форми, який підтверджує укладання договору мультимодального перевезення, оформлюється оператором мультимодального перевезення і за яким здійснюється перевезення вантажу на всьому маршруті мультимодального перевезення».

До обов'язкових реквізитів документа належать:

- відомості про оператора та замовника;
- найменування, вид, кількість та вага вантажу;
- види транспорту, маршрут, пункти відправлення і доставки;
- строк виконання перевезення.

У статті 9 того ж закону вказано, що форма документа мультимодального перевезення визначається центральним органом виконавчої влади у сфері транспорту [3].

Відповідно до Конвенції ООН про міжнародні змішані перевезення вантажів (1980) [4]:

«Multimodal transport document is evidence of a contract for the performance and responsibility of a carrier for the carriage of goods by at least two different modes of transport».

Цей документ об'єднує функції кількох транспортних формулярів (CMR, коносамент, залізнична накладна), спрощуючи документообіг і мінімізуючи адміністративні бар'єри.

2. Мультимодальні термінали

Згідно з визначенням у статті 1 Закону №1887-IX:

«Мультимодальний термінал – виробничо-перевантажувальний комплекс суб'єкта господарювання будь-якої форми власності, що забезпечує організацію мультимодальних перевезень вантажів» [3].

До функцій таких терміналів входять:

- перевантаження вантажів між видами транспорту;
- тимчасове зберігання;
- митне та прикордонне оформлення;
- забезпечення наскрізного обліку та контролю вантажних одиниць.

Відповідно до статті 7 Закону, мультимодальні термінали мають бути обладнані для контролю та сканування вантажів, а їхня інфраструктура – відповідати технічним стандартам, встановленим Мінінфраструктури України.

Прикладами таких вузлів в Україні є ТЛЦ «Ліски» (м. Київ), логістичний вузол «Мостиська» (Львівська обл.) та інші прикордонні транспортно-логістичні комплекси [10].

3. Цифрова інтеграція: документообіг та взаємодія

Розвиток мультимодальної логістики супроводжується впровадженням цифрових технологій. Найбільш поширеними є:

- е-CMR — електронна версія товарно-транспортної накладної (використовується у міжнародних автомобільних перевезеннях);
- EDI-системи — автоматизований обмін структурованими транспортно-логістичними даними між суб'єктами мультимодального ланцюга;
- блокчейн-платформи, зокрема TradeLens, які забезпечують прозорість ланцюга поставок, контроль доступу до даних, митну сумісність [9].

Ці технології забезпечують швидке узгодження замовлень, маршрутів, графіків доставки, формування цифрових накладних та контроль ключових KPI.

На рисунку 1.3 представлено концептуальну модель цифрової взаємодії між учасниками мультимодального перевезення через термінал з використанням наскрізного електронного документообігу.

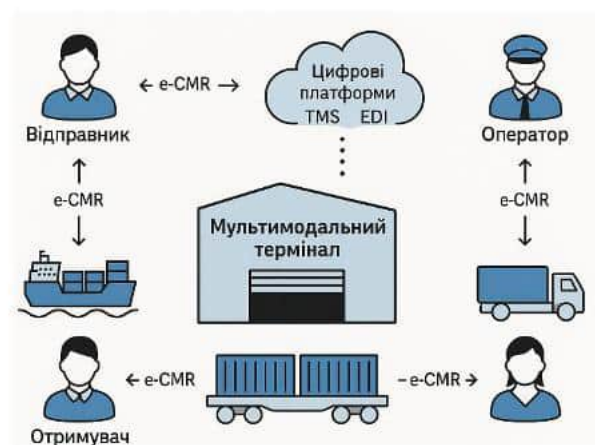


Рисунок 1.3 – Інтеграція мультимодального терміналу в цифрову транспортно-логістичну систему (e-CMR, EDI, TMS)

Аналіз наукових джерел, міжнародних договорів і чинного законодавства дозволив сформулювати системне уявлення про поняття, структуру та елементи мультимодальних перевезень. Встановлено, що мультимодальні перевезення – це логістично уніфікована система доставки вантажів, що передбачає зміну видів транспорту без зміни вантажної одиниці, під контролем єдиного оператора.

Національне законодавство України (Закон №1887-IX) детально регламентує ключові поняття: етап мультимодального перевезення, оператор мультимодальних перевезень, мультимодальний термінал, документ мультимодального перевезення, що дозволяє гармонізувати українську транспортну практику з європейськими нормами.

Класифікація мультимодальних перевезень за видами транспорту, просторовою структурою, організаційною моделлю та рівнем цифровізації забезпечує підґрунтя для подальшої розробки моделей оптимізації логістичних рішень. Зокрема, актуальним є перехід від класичних до цифрових форм документації (e-CMR, EDI, блокчейн), що дозволяє значно скоротити час на обробку вантажів і мінімізувати ризики.

Узагальнено, що ефективність організації мультимодальних перевезень залежить від трьох ключових компонентів:

- нормативно закріпленої єдності документації;
- розвитку інфраструктури мультимодальних терміналів;
- впровадження цифрових інструментів керування ланцюгами поставок.

1.2 Основи нормативно-правового регулювання мультимодальних перевезень в Україні та світі

Мультимодальні перевезення в системі міжнародного права. Організація мультимодальних перевезень значною мірою залежить від уніфікованого

правового регулювання, що забезпечує узгодженість між різними видами транспорту, національними законодавствами та міждержавними договорами. В умовах глобалізації ефективне функціонування мультимодальних логістичних ланцюгів неможливе без правового механізму, який охоплює весь маршрут перевезення, незалежно від зміни транспортних засобів, юрисдикцій та митних режимів.

Основним міжнародним нормативним актом, який заклав основу концепції мультимодальних перевезень, є Конвенція ООН про міжнародні змішані перевезення вантажів (United Nations Convention on International Multimodal Transport of Goods, 1980). Хоча вона так і не набула чинності через недостатню кількість ратифікацій, її термінологічна база й підходи залишаються актуальними для розробки національних законів [4].

Конвенція визначає основні поняття:

- мультимодальне перевезення як доставку вантажів принаймні двома видами транспорту на основі єдиного договору;
- оператор мультимодального перевезення (Multimodal Transport Operator, МТО) — як відповідальну особу за весь маршрут, незалежно від того, чи виконує він окремі етапи транспортування самостійно;
- мультимодальний транспортний документ — як свідчення договору й приймання вантажу для доставки.

Іншим важливим документом є Міжнародна конвенція про уніфікацію деяких правил щодо коносаментів (Гаазькі правила, 1924), яка регулює морську частину мультимодального перевезення. Вона обмежує відповідальність перевізника й визначає основні обов'язки сторін, у тому числі у випадку змішаного транспортування [12].

Також значну роль відіграє Конвенція CMR (Convention relative au contrat de transport international de marchandises par route, 1956), яка регулює міжнародні автомобільні перевезення. Вона активно використовується у рамках мультимодальних перевезень, особливо при оформленні e-CMR — електронної накладної, яка має міжнародне правове визнання в більш ніж 30 країнах Європи [13].

Особливу увагу в останні роки привертає Меморандум ЄС щодо цифрового транспорту і логістики (EU Digital Transport and Logistics Forum, 2020), який підкреслює необхідність переходу до єдиного цифрового транспортного середовища, у тому числі для мультимодальних маршрутів [14].

У таблиці 1.1 наведено приклад ієрархії міжнародних нормативно-правових актів, які прямо або опосередковано регламентують організацію мультимодальних перевезень.

Таблиця 1.1 – Ключові міжнародні нормативно-правові документи у сфері мультимодальних перевезень

Рівень	Назва документа	Сфера дії	Основні положення
1	Конвенція ООН (1980)	Вся система МП	Єдиний договір, відповідальність МТО
2	Конвенція CMR (1956)	Автомобіль	Обов'язки перевізника, e-CMR
3	Гаазькі правила (1924)	Морський транспорт	Коносамент, відповідальність
4	Меморандум DTLF (2020)	ЄС	Цифрова інтеграція, інтероперабельність

Національне правове регулювання мультимодальних перевезень в Україні

Україна зробила вагомий крок у напрямку правового закріплення мультимодальних перевезень, прийнявши Закон України «Про мультимодальні перевезення» від 17.11.2021 №1887-IX. Цей документ формалізував основні поняття, механізми правової взаємодії між учасниками перевезень та принципи відповідальності.

Ключові положення Закону №1887-IX

1 Офіційне визначення мультимодального перевезення:

«Мультимодальне перевезення – перевезення вантажу щонайменше двома різними видами транспорту на підставі єдиного договору мультимодального перевезення» [3, ст.1].

2 Запровадження терміну "оператор мультимодального перевезення" (ОМП) — суб'єкта господарювання, який надає послуги на підставі договору та несе повну відповідальність за доставку незалежно від виду транспорту.

3 Правовий статус документа мультимодального перевезення — визнається офіційною підставою для виконання митного оформлення, страхування, контролю вантажу.

4 Регламентування мультимодальних терміналів — як суб'єктів інфраструктури, що повинні відповідати критеріям доступності, технічної сумісності, цифрової сумісності та взаємодії з митними органами.

Взаємодія із суміжними нормативними актами. Мультимодальні перевезення перетинаються з рядом інших нормативних документів:

- Митний кодекс України (в редакції від 13.03.2012 №4495-VI): містить норми щодо митного транзиту при зміні виду транспорту, електронного декларування, авторизованих економічних операторів [15].

- Закон України «Про транспорт» №232/94-ВР: визначає загальні принципи функціонування транспортної системи, включаючи взаємодію між транспортними видами.

- Інструкція з оформлення документів на перевезення вантажів залізничним транспортом, затверджена наказом Міністерства інфраструктури України №334 від 27.05.2013: визначає порядок заповнення перевізних документів при мультимодальній участі залізниці [16].

Таблиця 1.2 – Основні українські нормативні акти у сфері мультимодальних перевезень

№	Документ	Сфера регулювання	Важливі положення
1	Закон №1887-IX	Комплексне регулювання мультимодальних перевезень	Єдиний договір, терміни, відповідальність
2	Митний кодекс	Оформлення на кордоні, електронна декларація	Транзит, АЕО, спрощення процедур
3	ЗУ «Про транспорт»	Загальні принципи організації перевезень	Взаємодія видів транспорту
4	Наказ №334	Документообіг на залізничному транспорті	Форми накладних, порядок обліку

Гармонізація українського законодавства з міжнародними та європейськими нормами. У процесі імплементації положень Закону України «Про мультимодальні перевезення» №1887-IX виявляються низка нормативних та

організаційних розбіжностей між українською та європейською правовими системами, які ускладнюють ефективне функціонування мультимодальних перевезень у транскордонному сполученні.

1 Неврегульованість статусу мультимодального транспортного документа. Хоча в Законі №1887-IX передбачено наявність документа мультимодального перевезення, наразі відсутній затверджений уніфікований зразок такого документа, а також нормативно-правовий акт, який би визнавав його еквівалентом коносаменту або CMR в міжнародному праві. Натомість у ЄС активно застосовуються:

- FIATA Multimodal Bill of Lading (FBL) – для змішаних вантажів у межах ЄС та з третіми країнами;
- CIM/SMGS consignment note – у рамках залізничної Конвенції COTIF [17].

2 Обмежене визнання електронних форм. Україна хоча і приєдналася до проєктів з впровадження e-CMR (електронної товарно-транспортної накладної), на момент підготовки цієї роботи відсутній акт, що забезпечує обов'язкове або пріоритетне використання е-документів у мультимодальних перевезеннях [18]. У країнах ЄС електронний документообіг у сфері транспорту вже регулюється Регламентом (ЄС) 2020/1056 про електронну інформацію щодо вантажів (eFTI), який створює єдину цифрову транспортну екосистему [19].

3 Відсутність механізмів інтероперабельності. Закон №1887-IX передбачає можливість використання різних видів транспорту, однак не деталізує технічні або організаційні механізми їх узгодження, наприклад:

- уніфікацію обліку вантажів при переході з одного виду транспорту на інший;
- сумісність термінального обладнання;
- стандарти цифрових повідомлень (message exchange standards, XML/EDIFACT).

У країнах-членах ЄС ці питання регулюються окремими нормативами, зокрема технічними стандартами TEN-T Core Network, положеннями UIC Leaflets та EU ITS Directives щодо інтелектуальних транспортних систем [20].

4 *Інституційна фрагментованість.* Реалізація мультимодальних перевезень в Україні підпорядковується різним міністерствам та службам (Мінінфраструктури, Держмитслужба, АТ «Укрзалізниця», Держтрансбезпека), що ускладнює координацію цифрової взаємодії. ЄС, у свою чергу, застосовує модель єдиного логістичного вікна (Single Window Environment), де митне оформлення, перевірки та погодження перевезень інтегруються на одній цифровій платформі [21].

Нормативно-правове забезпечення мультимодальних перевезень є необхідною передумовою для їх ефективного функціонування як у межах національного ринку, так і в міжнародному просторі. Аналіз міжнародних конвенцій, актів ЄС та національного законодавства України засвідчив наявність концептуальної бази для розвитку мультимодальної логістики, однак також виявив низку прогалин та неузгодженостей.

На міжнародному рівні, основними орієнтирами залишаються Конвенція ООН (1980), CMR, Гаазькі правила, а також сучасні ініціативи ЄС, зокрема eFTI. Вони забезпечують єдиний підхід до визначення відповідальності, обігу документів, цифрової інтеграції. Водночас в Україні лише у 2021 році було прийнято спеціалізований Закон №1887-IX, який поклав правову основу для впровадження мультимодальних перевезень.

Незважаючи на позитивну динаміку, виявлено кілька критичних проблем:

- відсутність затвердженої форми документа мультимодального перевезення;
- неврегульованість статусу цифрових документів (e-CMR, eFTI);
- недостатня гармонізація з технічними та інституційними вимогами ЄС;
- фрагментарність регуляторної структури в межах української юрисдикції.

Для досягнення повноцінної інтеграції України у європейський мультимодальний простір необхідне:

- ухвалення підзаконних актів до Закону №1887-IX;
- цифровізація митної взаємодії на основі моделей Single Window;

- імплементація європейських стандартів інтероперабельності та даних (eFTI, UIC Leaflets).

1.3 Цифровізація логістичних процесів: сучасні підходи та технології

У сучасних умовах мультимодальні перевезення все частіше розглядаються як інтегрована цифрова логістична система, у межах якої всі операції — від бронювання до остаточного доставлення вантажу — управляються за допомогою цифрових платформ. Це зумовлено необхідністю забезпечення прозорості, оперативності, зниження транзакційних витрат і взаємної інтеграції видів транспорту.

Цифрова логістика: базове поняття. Згідно з дослідженнями Європейської асоціації цифрового транспорту DTLF (Digital Transport and Logistics Forum):

«Цифрова логістика – це використання цифрових технологій, інфраструктури та платформ для обміну транспортно-логістичною інформацією між усіма сторонами ланцюга поставок у режимі реального часу» [19].

Її функціональне ядро складають:

- цифрові транспортні платформи (TMS, SCM-системи),
- інтелектуальні транспортні рішення (ITS, IoT, сенсори),
- технології обміну структурованими даними (EDI, API),
- штучний інтелект, машинне навчання, блокчейн.

Цифровізація логістичних процесів пройшла кілька послідовних етапів:

1 Автоматизація операцій — впровадження базових АРМ (автоматизованих робочих місць), електронних таблиць, локальних баз даних;

2 Інтеграція ланцюга постачання — створення наскрізних систем управління (WMS, TMS, ERP);

3 Цифрова екосистема логістики — хмарні обчислення, інтероперабельність, блокчейн, Smart Contracts.

Цифрова логістика як основа мультимодальних перевезень. Для мультимодальних перевезень цифровізація є не просто доповненням, а необхідною умовою інтероперабельності, оскільки дає змогу:

- узгоджувати графіки руху різних видів транспорту;
- координувати термінальні та прикордонні операції;
- уніфікувати документообіг;
- здійснювати моніторинг у реальному часі.

Зокрема, в ЄС у рамках платформи FEDeRATED формується єдина цифрова інфраструктура для вантажних перевезень на базі стандартів eFTI (electronic Freight Transport Information) [20].

Сучасна мультимодальна логістика орієнтована на інтегроване цифрове управління всіма етапами перевезень — від створення замовлення до моніторингу маршруту. В основі цієї трансформації лежать конкретні цифрові інструменти, які підвищують ефективність, прозорість і надійність логістичних процесів.

1 е-CMR – електронна товарно-транспортна накладна

Електронна форма товарно-транспортної накладної забезпечує юридичну еквівалентність паперовому документу відповідно до Протоколу до Конвенції CMR 2008 року. Основні функціональні переваги:

- можливість внесення змін у режимі реального часу;
- підтримка цифрового підпису та QR-кодування;
- автоматичний обмін даними з прикордонними службами.

Україна підписала Протокол у 2019 році, і станом на 2024 рік реалізує пілотні проекти впровадження е-CMR за підтримки Мінінфраструктури [22].

2 eFTI – електронна інформація щодо вантажів

Згідно з Regulation (EU) 2020/1056 [12], система eFTI регламентує правила обміну вантажною інформацією в цифровому форматі між усіма учасниками перевезень. Це дозволяє:

- стандартизувати формат даних для транскордонних перевезень;
- забезпечити сумісність IT-систем перевізників, терміналів, митниці;

- уніфікувати документи різних країн ЄС в одному цифровому середовищі.

3 Блокчейн у мультимодальній логістиці

Системи на базі технології блокчейн дозволяють забезпечити:

- захист від несанкціонованого втручання в логістичну інформацію;
- незмінність цифрового запису на кожному етапі перевезення;
- автоматичне виконання контрактів через смарт-контракти.

Найвідомішим прикладом є TradeLens — міжнародна платформа, розроблена IBM і Maersk, яка застосовувалася і для мультимодальних перевезень через Україну [7].

4 Інтернет речей (IoT) та телематичні датчики

Технології IoT забезпечують постійний моніторинг фізичних параметрів вантажу та рухомого складу. Серед основних інструментів:

- GPS-трекери (відстеження руху);
- RFID-мітки (ідентифікація контейнерів і вантажів);
- температурні/вологісні сенсори (моніторинг умов зберігання).

Вони інтегруються у системи управління перевезеннями (TMS), а дані зчитуються в реальному часі на контрольних точках мультимодального маршруту [24].

Цифровізація логістичних процесів у сфері мультимодальних перевезень реалізується через впровадження національних та міждержавних платформ, експериментальних проектів та стандартів даних. Огляд сучасної практики дозволяє виділити найбільш характерні кейси цифрової трансформації.

В Україні цифровізація мультимодальних перевезень розпочалася з імплементації елементів:

- e-CMR – за підтримки Мінінфраструктури впроваджено пілотне оформлення електронних товарно-транспортних накладних [22];

- Єдине вікно на митниці – система обміну митною інформацією та спрощеного декларування вантажів, інтегрована з e-Cabinet Держмитслужби [25];

- АС «Ліски» – інформаційна система логістичного хабу Києва (ЦТС «Ліски»), що координує перевантаження, моніторинг і облік контейнерів [8].

Однак цифрова взаємодія між видами транспорту ще фрагментована, а інформаційна сумісність обмежена через відсутність єдиного протоколу даних.

У країнах ЄС діє стратегія «Smart and Sustainable Mobility Strategy», яка передбачає повний перехід до цифрових перевезень до 2030 року. Ключові ініціативи:

- FDeRATED – формування федеративної мережі логістичних платформ, які обмінюються транспортними даними через сумісні API [20];
- RailData – цифрова платформа для обліку вантажів і вагонів у мультимодальних перевезеннях залізничним транспортом [26];
- eFTI-рішення на кордонах – прикордонні пункти ЄС оснащуються пристроями автоматичного зчитування даних вантажу за стандартом Regulation (EU) 2020/1056 [12].

Ці платформи дозволяють уникнути повторного введення даних, знизити помилки при оформленні документів, а також синхронізувати розклади транспорту.

Міжнародні логістичні оператори. Maersk Line, один з лідерів глобальної логістики, застосовує у своєму мультимодальному сервісі платформу TradeLens [7], яка:

- забезпечує відстеження вантажу від відправника до кінцевого отримувача;
- фіксує всі логістичні події у блокчейн-журналі;
- дозволяє митницям заздалегідь отримувати відомості про товар.

Інші приклади:

- DB Cargo використовує систему RailWatch для моніторингу вантажних вагонів у мультимодальних перевезеннях по мережі TEN-T;
- DHL SmartSensor — IoT-рішення для контролю параметрів перевезення (температури, вібрації, положення) в реальному часі [27].

Цифровізація логістичних процесів стала ключовим чинником підвищення ефективності, прозорості та інтероперабельності мультимодальних перевезень.

В умовах інтеграції України до європейського транспортного простору, цифрова трансформація набуває системного значення, охоплюючи документообіг, управління маршрутами, контроль вантажів і оптимізацію термінальної обробки.

На основі проведеного аналізу встановлено:

- цифрова логістика включає не лише електронний документообіг, а й взаємодію ІТ-систем перевізників, операторів, митниці та вантажовласників;
- ключовими інструментами цифрової мультимодальної логістики є: e-CMR, eFTI, блокчейн-платформи (TradeLens), IoT-сенсори та телематичні рішення;
- практичні приклади цифровізації логістики свідчать про різні рівні інтеграції в Україні, країнах ЄС і у глобальних операторів;
- в Україні цифрові ініціативи поки що обмежені пілотними проєктами (e-CMR, «Єдине вікно», АС Ліски), тоді як у ЄС діють повнофункціональні цифрові платформи (FEDeRATED, RailData);
- гармонізація стандартів даних, впровадження смарт-контрактів і автоматичний обмін інформацією є ключовими напрямками розвитку мультимодальної логістики у цифровому середовищі.

Теоретичне обґрунтування інтеграції мультимодальних перевезень у логістичну систему. Сучасні транспортно-логістичні системи функціонують у межах глобалізованої економіки, де ключову роль відіграє не окремий вид транспорту, а здатність забезпечити безперервне, ефективне та кероване переміщення вантажів у межах інтегрованого логістичного ланцюга. У такій системі мультимодальні перевезення не є ізольованим транспортним процесом, а розглядаються як органічна складова логістики, що з'єднує різні інфраструктурні сегменти, операційні платформи та інформаційні сервіси.

Згідно з класичною логістичною моделлю (Christopher, Ballou, Rutka), транспорт є одним із п'яти функціональних елементів логістичної системи поряд із складським господарством, управлінням запасами, обробкою замовлень та інформаційним забезпеченням. Мультимодальні перевезення дозволяють органічно включити транспорт у цей багатокомпонентний простір, поєднуючи переваги різних видів транспорту у межах єдиного сервісу, адаптованого до

запитів кінцевого споживача. Вони забезпечують гнучке формування маршрутів, раціональне використання транспортних засобів, зниження витрат і зменшення негативного екологічного впливу.

У структурі транспортно-логістичної системи мультимодальні перевезення займають проміжне положення між інфраструктурними та інформаційно-керуючими підсистемами. Їхня роль полягає у забезпеченні функціонального зв'язку між окремими етапами логістичного процесу, зокрема при переході вантажу з одного виду транспорту на інший. Саме на цьому стику реалізується взаємодія операторів, відбувається передача відповідальності, обробка супровідних документів та інтеграція в єдине інформаційне поле. Таким чином, мультимодальність виводить транспортну складову на рівень логістичного управління, забезпечуючи стратегічну мобільність вантажопотоків і адаптивність до викликів глобального ринку.

Ієрархічно мультимодальні перевезення функціонують на операційному рівні (оформлення перевізних документів, управління маршрутом, контроль терміналів), на тактичному рівні (вибір логістичних партнерів, планування маршрутів, управління запасами) і на стратегічному рівні (формування ланцюгів постачання, інтеграція цифрових платформ, побудова логістичних альянсів).

Мультимодальні перевезення як елемент глобального ланцюга постачання. Розвиток світової торгівлі та регіоналізація виробничих процесів створюють необхідність в організації логістичних систем, здатних обслуговувати вантажопотоки між континентами з високою точністю та передбачуваністю. У такій системі мультимодальні перевезення стають ключовим елементом, що поєднує морські, залізничні, автомобільні та авіаційні транспортні ланки в межах єдиного управлінського процесу.

У глобальних ланцюгах постачання мультимодальні перевезення забезпечують не лише фізичне переміщення вантажів, але й виконують функцію координатора між виробничими площадками, термінальними вузлами, дистрибутивними центрами та споживчими ринками. Через інтеграцію цифрових платформ, зокрема систем управління транспортом (TMS), складськими процесами (WMS) і глобальними обліковими системами (ERP),

мультимодальні перевезення дозволяють синхронізувати логістичний потік на різних географічних рівнях.

Характерною особливістю мультимодальності в межах глобального ланцюга постачання є її здатність адаптуватися до геополітичних, економічних та інфраструктурних обмежень. Наприклад, морське перевезення контейнерів між Азією та Європою може мати декілька мультимодальних продовжень: через залізничний напрямок Нового Шовкового шляху, сухопутні коридори Центральної Європи або Чорноморські транспортні вузли. У всіх випадках важливим є забезпечення технологічної та інформаційної сумісності на стику різних видів транспорту.

Таким чином, мультимодальні перевезення не лише підтримують глобальні ланцюги постачання, але й трансформуються в інструмент їхньої стабільності, забезпечуючи зменшення часу доставки, обмеження логістичних ризиків, зниження витрат і підвищення адаптивності до змін у зовнішньому середовищі.

Взаємодія мультимодальних перевезень із підсистемами логістичних комплексів. Функціонування мультимодальних перевезень у межах транспортно-логістичної системи неможливе без системної взаємодії з інфраструктурною, адміністративною та інформаційною підсистемами логістичних комплексів. Ці підсистеми забезпечують реалізацію перевізного процесу не лише в фізичному, а й в організаційно-керованому вимірі.

Інфраструктурна взаємодія проявляється передусім у функціональній здатності мультимодальних терміналів забезпечити ефективну передачу вантажу між різними видами транспорту. Це передбачає наявність сумісного перевантажувального обладнання, достатню довжину фронтів обробки, пристосованість шляхів до контейнерних і комбінованих платформ. Важливим аспектом є також транспортна доступність терміналу: його під'їзні шляхи, інтегрованість до магістральних коридорів, віддаленість від логістичних кластерів.

У сфері адміністративної взаємодії визначальну роль відіграє уніфікація митних, прикордонних та контрольних процедур. У країнах ЄС діє принцип

"єдиного вікна", згідно з яким документообіг і перевірки здійснюються через єдину цифрову платформу, узгоджену між різними відомствами. В Україні такі ініціативи також реалізуються, зокрема через платформу автоматизованої системи митного оформлення, однак ще не досягнуто повної сумісності з мультимодальними цифровими сервісами [18, 25].

Інформаційна взаємодія охоплює передачу даних про вантаж, маршрут, статус обробки й документи у режимі реального часу між усіма учасниками перевезення. Вона ґрунтується на використанні цифрових стандартів обміну (EDI, XML, API), платформ управління перевезеннями (TMS), а також інтероперабельних систем сповіщення. Успішна реалізація мультимодального перевезення потребує синхронізації даних між транспортними компаніями, терміналами, операторами митного контролю, системами безпеки та клієнтськими порталами [30].

На прикладі міжнародних логістичних хабів видно, що лише за умов цілісної взаємодії між зазначеними підсистемами мультимодальність виконує свою системну функцію – забезпечення наскрізного логістичного потоку з високим рівнем сервісу, без затримок та зниженою вартістю на одиницю перевезення.

Мультимодальні перевезення є не лише засобом транспортного з'єднання між пунктами відправлення та призначення, а й складовою частиною складної транспортно-логістичної системи, яка об'єднує інфраструктурні, інформаційні, адміністративні та комерційні елементи.

Проведене теоретичне узагальнення дозволило зробити такі висновки:

По-перше, мультимодальні перевезення інтегруються у логістичну систему як сервіс, що забезпечує функціональність усіх етапів матеріального потоку — від відправлення до доставки — з урахуванням вимог гнучкості, ефективності та адаптивності до змін зовнішнього середовища.

По-друге, мультимодальність має чітко окреслену ієрархію реалізації в логістиці: від операційного управління перевезенням до стратегічного планування міжнародних ланцюгів постачання. У межах глобальної логістики

вона відіграє ключову роль у забезпеченні надійності та ефективності торговельних зв'язків.

По-третє, мультимодальні перевезення функціонують лише за умов ефективної взаємодії з іншими підсистемами логістичних комплексів. Без технічної сумісності інфраструктури, уніфікованих регламентів адміністративного оформлення та повноцінного цифрового середовища їхній розвиток є обмеженим.

Таким чином, мультимодальність є не тільки інструментом транспортної інтеграції, але й стратегічним чинником побудови логістичних систем нового покоління.

1.4 Проблеми, бар'єри та перспективи розвитку мультимодальних перевезень

Теоретичне обґрунтування проблем у сфері мультимодальних перевезень. Попри стрімкий розвиток інтермодальних та мультимодальних логістичних технологій у світі, значна кількість досліджень свідчить про наявність системних обмежень, що стримують повноцінне розгортання цієї моделі перевезень в окремих країнах, зокрема в Україні. Теоретичний аналіз дозволяє виділити проблеми різного походження — інфраструктурного, нормативного, технологічного та економічного характеру.

Першочерговою проблемою є інфраструктурна неспроможність забезпечити безперешкодну взаємодію між різними видами транспорту. Багато терміналів не мають необхідного обладнання для перевантаження контейнерів, не забезпечують належного рівня обробки вантажу або мають обмежену пропускну здатність. Це призводить до затримок, зростання логістичних витрат та втрати конкурентоспроможності мультимодального сервісу порівняно з прямими маршрутами.

Другий важливий бар'єр — відсутність гармонізованого нормативного поля, яке б регламентувало взаємодію учасників мультимодальних перевезень у цифровому форматі. Закон України «Про мультимодальні перевезення» (2021) [1] лише частково відповідає міжнародним конвенціям (CIM, SMGS, e-CMR), і досі не доповнений підзаконними актами, які б визначали типові процедури, форму електронного документа мультимодального перевезення, механізми обміну даними. Як наслідок, оператори змушені працювати в умовах правової невизначеності.

Значну увагу в науковій літературі приділено інституційним та координаційним труднощам, які зумовлені недостатнім рівнем співпраці між державними структурами, логістичними компаніями та інфраструктурними операторами. Мультимодальні перевезення вимагають інтеграції у плануванні, управлінні, обліку й контролі, а також гнучкості в тарифоутворенні. Відсутність таких механізмів призводить до дублювання функцій, підвищення транзакційних витрат, а іноді — до конфліктів між відомствами [31].

З технологічної точки зору важливою перешкодою є низький рівень цифрової інтеграції між системами операторів. У багатьох випадках навіть за наявності АСУ (наприклад, АСК ВП УЗ-Є, TMS, WMS) відсутній наскрізний обмін даними або уніфікований API, що не дозволяє реалізувати принцип наскрізного «end-to-end visibility» — наскрізного контролю перевезення. Ця проблема особливо гостра на стикових пунктах, у терміналах і під час митного оформлення [18, 22, 30].

Загалом, теоретичний аналіз свідчить, що мультимодальні перевезення є висококомплексною системою, розвиток якої залежить від синхронної дії багатьох чинників. Без усунення нормативних, інституційних, технічних та організаційних бар'єрів вони не здатні реалізувати свій повний потенціал у логістичному ланцюзі.

Аналіз ключових бар'єрів на прикладі України, ЄС та світової практики

Бар'єри, які перешкоджають розвитку мультимодальних перевезень, мають різну природу, але об'єднуються у спільну системну проблему —

фрагментованість логістичних процесів. Порівняльний аналіз дозволяє виявити характерні риси цих обмежень у національному та міжнародному вимірах.

В Україні основними перешкодами залишаються інституційна роз'єднаність учасників мультимодального перевезення, нестача інтегрованої інфраструктури та низький рівень цифрової взаємодії між секторами. Наприклад, АТ «Укрзалізниця» здійснює перевезення на залізничній дільниці, а далі транспортна логістика переходить до відповідальності автомобільного або морського перевізника, з яким часто відсутня налагоджена система інформаційного обміну. ЦТС «Ліски» як логістичний вузол функціонує частково ефективно, але навіть там не реалізовано повного наскрізного цифрового контролю з боку користувача [8].

У нормативному аспекті українське законодавство частково гармонізоване з міжнародними стандартами, однак досі не імplementовано базові положення Конвенції CIM/SMGS щодо єдиної накладної, а також не забезпечено юридичну підтримку цифрових документів мультимодального перевезення (e-CMR, eFTI). Це ускладнює не лише міжнародне, а й внутрішнє стикування логістичних операцій [1, 12].

Європейський Союз намагається подолати подібні бар'єри шляхом розбудови інтегрованої цифрової екосистеми. Програми FEDeRATED і eFTI орієнтовані саме на вирішення проблеми міжвідомчої взаємодії, створення відкритих стандартів даних і забезпечення уніфікованого доступу до транспортної інформації. Водночас навіть у межах ЄС на стиках національних систем існують проблеми з інтероперабельністю IT-рішень, відмінностями у доступі до митної інформації та різним рівнем зрілості цифрової інфраструктури [20, 12].

У глобальній логістиці бар'єри мають інший характер. Наприклад, у країнах Південно-Східної Азії чи Латинської Америки основними проблемами є нестабільність нормативного середовища, слабкий правовий захист оператора мультимодального перевезення та відсутність незалежного регулюючого органу. Водночас технологічний розвиток (впровадження блокчейн-платформ, як-от

TradeLens) у цих регіонах часто випереджає нормативну базу, що створює «цифровий розрив» між потенціалом і практикою [7, 32].

Порівняльний аналіз засвідчує, що найбільші труднощі виникають на стикових етапах мультимодального перевезення, тобто там, де змінюється вид транспорту, відповідальність, стандарт даних чи структура обслуговування. Без уніфікації цифрових протоколів, адаптації інфраструктури та гармонізації нормативного поля мультимодальна логістика не здатна реалізувати основну свою перевагу — безперервність постачання.

У світлі зростаючих обсягів міжнародної торгівлі, активного переходу до цифрової економіки та впровадження стратегії сталого розвитку, мультимодальні перевезення набувають нового значення як комплексна форма логістичного сервісу з високим ступенем інтеграції. Їх розвиток більше не зводиться лише до стикування транспортних модальностей — він трансформується в систему наскрізного управління матеріальними та інформаційними потоками.

Цифрові технології виступають ключовим драйвером цієї трансформації. Згідно з позицією Європейської комісії, до 2030 року всі основні мультимодальні коридори ЄС мають бути оснащені системами електронного документообігу, цифрового моніторингу та автоматизованого управління [5]. Впровадження eFTI (електронної інформації про вантаж), повна інтеграція e-CMR та формування федеративних платформ управління перевезеннями дозволить синхронізувати логістичні процеси у масштабах континенту.

З позиції екологічної сталості, мультимодальні перевезення розглядаються як один із найефективніших механізмів зменшення викидів CO₂. За даними ITF, перехід з автотранспорту на мультимодальні рішення з використанням залізничного та водного транспорту дозволяє скоротити вуглецевий слід на 40–70% залежно від маршруту [33]. Це забезпечує відповідність глобальним екологічним зобов'язанням, зокрема «Зеленому курсу ЄС» та Паризькій кліматичній угоді.

У контексті інтероперабельності розвиток мультимодальних перевезень тісно пов'язаний із формуванням єдиного транспортного цифрового простору.

Застосування уніфікованих форматів обміну даними (EDI, API, XML), блокчейн-платформ для відстеження руху вантажу, IoT-сенсорів для фіксації параметрів перевезення створює умови для повного контролю всіх логістичних ланок. Україна також робить кроки в цьому напрямку — впровадження пілотних рішень e-CMR, підключення логістичних хабів до TMS та запуск пілотних інтермодальних маршрутів між Україною та Польщею свідчать про наявність потенціалу до масштабного цифрового розвитку [22, 33].

Загалом перспективи розвитку мультимодальної логістики передбачають її перехід від фрагментарної взаємодії до повноцінної логістичної інтеграції на основі цифрових, правових та організаційних механізмів. Особливе значення мають: формування системи електронних перевізних документів, розвиток транспортних коридорів з високим рівнем цифрового обслуговування, а також уніфікація митних і прикордонних процедур на стикових пунктах.

Узагальнення сучасних наукових джерел, практичних звітів та нормативної бази дозволяє констатувати, що мультимодальні перевезення в умовах цифровізації стикаються з комплексом взаємопов'язаних проблем. Водночас ці виклики є відправною точкою для системного вдосконалення.

До головних обмежень розвитку мультимодальних перевезень належать: фрагментована інфраструктура, недостатній рівень правової гармонізації, низький рівень цифрової взаємодії між учасниками перевезення та обмеженість інтегрованих логістичних сервісів. Особливо актуальними є бар'єри на стиках транспортних модальностей — у місцях, де змінюється не лише вид транспорту, але й формат відповідальності, обробки документів, митного супроводу та інформаційного протоколу.

Водночас перспективи розвитку пов'язані з поширенням цифрових рішень (e-CMR, eFTI, TMS, IoT), уніфікацією документів, екологізацією перевезень та впровадженням інтероперабельних платформ. Розвиток транспортних коридорів, цифрова модернізація логістичних хабів і нормативна адаптація є основою ефективної мультимодальної логістики в Україні та світі.

Таким чином, мультимодальні перевезення виступають не лише технологічною формою транспортування, а й стратегічним інструментом розвитку національної логістичної системи.

Висновки до розділу 1. Проведене теоретичне дослідження підтверджує, що мультимодальні перевезення є однією з ключових форм організації транспортного процесу в умовах сучасної логістичної інтеграції. Їх сутність полягає у використанні двох або більше видів транспорту в межах єдиного перевізного документу, що дозволяє досягати вищого рівня координації, ефективності й керованості логістичних потоків. Окреслено основні підходи до класифікації мультимодальних перевезень за критеріями виду транспорту, географічної структури, типу організації та форми взаємодії учасників перевезення.

Нормативно-правове регулювання мультимодальних перевезень базується на міжнародних конвенціях (CIM/SMGS, CMR, eFTI) та відповідному національному законодавстві, яке в Україні перебуває на етапі поступового гармонізування з європейськими нормами. Встановлено, що правова інтеперабельність між видами транспорту є критичною умовою реалізації ефективної моделі мультимодального обслуговування, особливо в умовах цифровізації.

Цифрові технології — зокрема e-CMR, eFTI, блокчейн-рішення, IoT-сенсори, платформи TMS — відіграють ключову роль у забезпеченні інформаційної сумісності та прозорості перевізного процесу. Удосконалення організації мультимодальних перевезень неможливе без впровадження наскрізного обміну даними між учасниками логістичного ланцюга. Аналіз світових прикладів демонструє, що саме цифрова інтеграція визначає рівень конкурентоспроможності логістичних систем.

Також у межах розділу було проаналізовано місце мультимодальних перевезень у транспортно-логістичних системах, зокрема їх роль у забезпеченні безперервності постачання, адаптивності до інфраструктурних обмежень та формуванні глобальних ланцюгів доданої вартості. Встановлено, що мультимодальні перевезення мають стратегічне значення як для внутрішньої

транспортної системи, так і для інтеграції України до міжнародного логістичного простору.

Окрему увагу приділено систематизації бар'єрів, які стримують розвиток мультимодальних перевезень, та перспективам подолання цих обмежень. До ключових проблем віднесено нормативну фрагментованість, інфраструктурну невідповідність, недостатню цифрову інтеграцію та обмежений рівень інтероперабельності. Водночас перспективи розвитку пов'язано з цифровізацією, екологізацією транспортних процесів та гармонізацією правового поля на основі міжнародного досвіду.

Таким чином, теоретичне підґрунтя, окреслене в першому розділі, дозволяє перейти до аналізу реального стану організації мультимодальних перевезень в Україні, зокрема з урахуванням цифрових практик, логістичних інтерфейсів та інституційної взаємодії.

2. Аналіз стану та тенденцій розвитку мультимодальних перевезень в Україні

2.1 Оцінка вантажопотоків і стану мультимодальної транспортно-логістичної інфраструктури

Аналіз динаміки вантажопотоків в умовах розвитку мультимодальних перевезень

Однією з основних передумов ефективного функціонування мультимодальних перевезень є стабільна та прогнозована структура вантажопотоків. Упродовж останнього десятиліття Україна демонструвала поступове зростання ролі мультимодального транспорту, зокрема за рахунок збільшення обсягів контейнеризації, транзитного потенціалу через пункти стику з ЄС та активізацію зовнішньої торгівлі з країнами Азії [31]. Однак після 2022 року динаміка зазнала істотних змін через повномасштабну військову агресію РФ. У результаті втрати доступу до частини морських портів, руйнування логістичної інфраструктури та зміщення логістичних маршрутів, зросло навантаження на альтернативні транспортні моделі, зокрема на мультимодальні рішення із залученням залізничного транспорту [32].

Згідно з аналітичними даними Міністерства розвитку громад, територій та інфраструктури України, з початку повномасштабного вторгнення спостерігається тенденція до зміни географічної структури вантажопотоків: зменшення вантажообігу через південні порти компенсується зростанням перевезень через західні прикордонні переходи [25]. Цей процес супроводжується активізацією проєктів з організації мультимодальних маршрутів до Польщі, Словаччини, Румунії та Угорщини з подальшим виходом на мережу TEN-T [7, 26]. Значна частина нових потоків реалізується через транспортно-логістичні вузли, зокрема ТЛЦ «Ліски» та вузли в Мостиській та Чопі [10].

Аналіз звітності АТ «Укрзалізниця» свідчить про зростання частки контейнерних перевезень у структурі загального вантажообігу. Так, якщо у 2019 році контейнери становили лише 2,8% обсягу залізничних перевезень, то у 2024 році цей показник сягнув 5,6% [27], що свідчить про сталий попит на послуги з інтермодального транспортування. Візуалізація цієї тенденції представлена на рисунку 2.1.

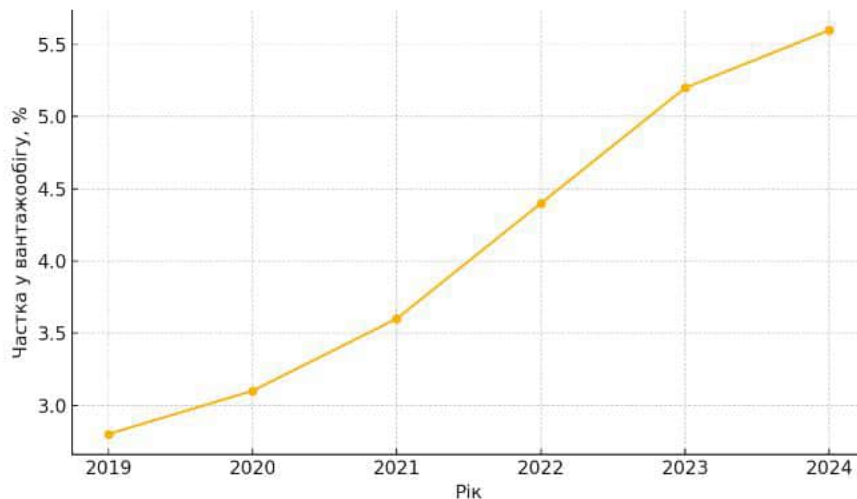


Рисунок 2.1 – Динаміка контейнерних перевезень залізничним транспортом в Україні у 2019–2024 роках, %

Паралельно спостерігається зміна географії вантажопотоків: частка перевезень через морські порти істотно скоротилася, натомість значно зросла роль прикордонних переходів. Така трансформація логістичних маршрутів є відповіддю на обмеження, спричинені бойовими діями та блокадою морських портів [33]. Відповідні зміни структури вантажопотоків наведено на рисунку 2.2.

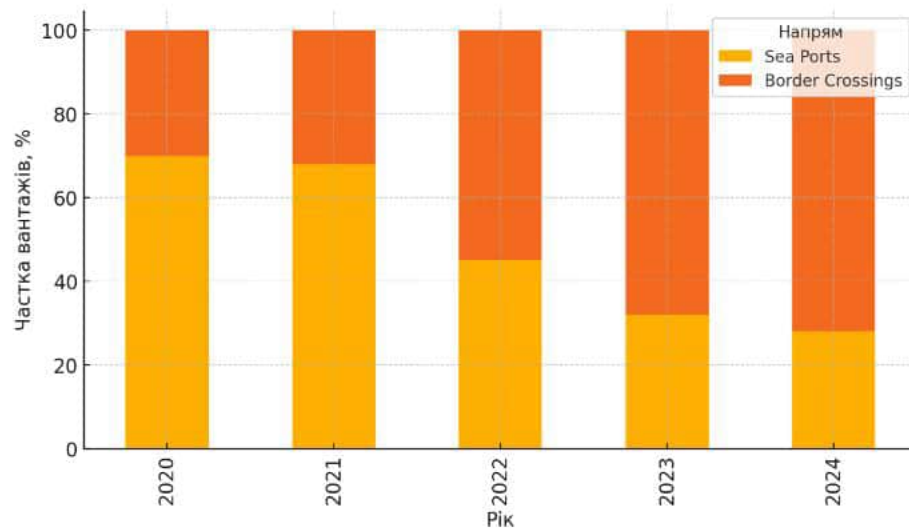


Рисунок 2.2 – Зміна структури вантажопотоків: морські порти та прикордонні переходи, 2020–2024 рр., %

Крім того, сучасна мультимодальна логістика дедалі частіше орієнтується на перевезення критично важливих, дороговартісних і високочутливих вантажів. До таких належать продовольчі товари, генератори, будівельні матеріали, які транспортуються з урахуванням високих вимог до безпеки, терміновості та мультимодального узгодження [29]. Структура таких перевезень у 2024 році відображена на рисунку 2.3.

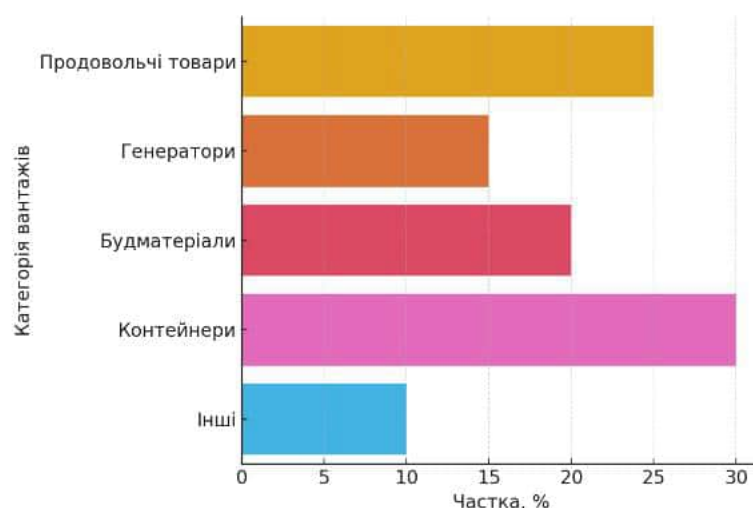


Рисунок 2.3 – Структура мультимодальних перевезень за видами вантажів у 2024 році, %

Оцінка загальної динаміки вантажопотоків дозволяє стверджувати, що мультимодальна модель на сьогодні виконує компенсаторну функцію в умовах обмеженого доступу до морської інфраструктури та нерівномірного завантаження внутрішніх перевізних потужностей. Її подальший розвиток має спиратися на синхронізацію транспортної та митної інфраструктури, а також на впровадження цифрових технологій для прогнозування, відстеження та координації вантажопотоків у реальному часі [24, 26].

Стан мультимодальної логістичної інфраструктури в Україні. Мультимодальна логістична інфраструктура відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування комбінованих перевезень, особливо в умовах воєнного стану та трансформації логістичних маршрутів. На сьогодні Україна стикається із значними викликами у цій сфері, що зумовлені одночасно структурною застарілістю низки елементів логістичної мережі, обмеженим технічним оснащенням вузлів перетворення виду транспорту, а також нерівномірністю просторового розвитку логістичних хабів.

Згідно з аналітичними оцінками [34], лише частина наявних інтермодальних терміналів в Україні відповідає сучасним технічним вимогам до обслуговування контейнерних та змішаних перевезень. Зокрема, найбільш пристосованими до обслуговування мультимодальних маршрутів залишаються транспортно-логістичні центри у Києві (ТЛЦ «Ліски»), Чопі, Мостиській, Одесі та Львові. Ці вузли мають обладнання для перевантаження контейнерів, локальні ІТ-системи для обліку операцій, а також доступ до залізничної і автомобільної мережі. Проте більшість регіональних вантажних станцій не інтегровані в мультимодальні ланцюги, що значно ускладнює розвиток моделі «від дверей до дверей».

Окремим бар'єром є низький ступінь автоматизації та відсутність єдиного цифрового середовища для взаємодії між учасниками перевізного процесу, включно з митними органами, логістичними операторами та залізничними підприємствами. У контексті мультимодальних перевезень важливим є не лише фізичний стан інфраструктури, а й її інформаційна сумісність, зокрема здатність до обміну даними у форматах eFTI, e-CMR та CIM/SMGS [17, 18].

Крім того, технічна несумісність між шириною колії європейських країн (1435 мм) та українською (1520 мм) унеможливорює пряме курсування вагонів через кордон, що вимагає перевантаження або використання спеціальних платформ. Це обумовлює необхідність подальшої модернізації прикордонних терміналів, зокрема в Ужгороді, Мостиській та Батьово, де вже реалізуються проекти зі створення логістичних хабів із багатофункціональною інфраструктурою [35].

Проблемним залишається і рівень технічного забезпечення перевантажувальних пунктів: переважна частина з них не має обладнання для роботи з негабаритними контейнерами, цистернами ISO, чи небезпечними вантажами. Відсутність багатофункціональних логістичних парків у низці регіонів (зокрема в центрі та на північному сході країни) формує територіальну нерівність доступу до мультимодальних сервісів. На рисунку 2.4 наведено просторову структуру ключових вузлів мультимодальної інфраструктури України.

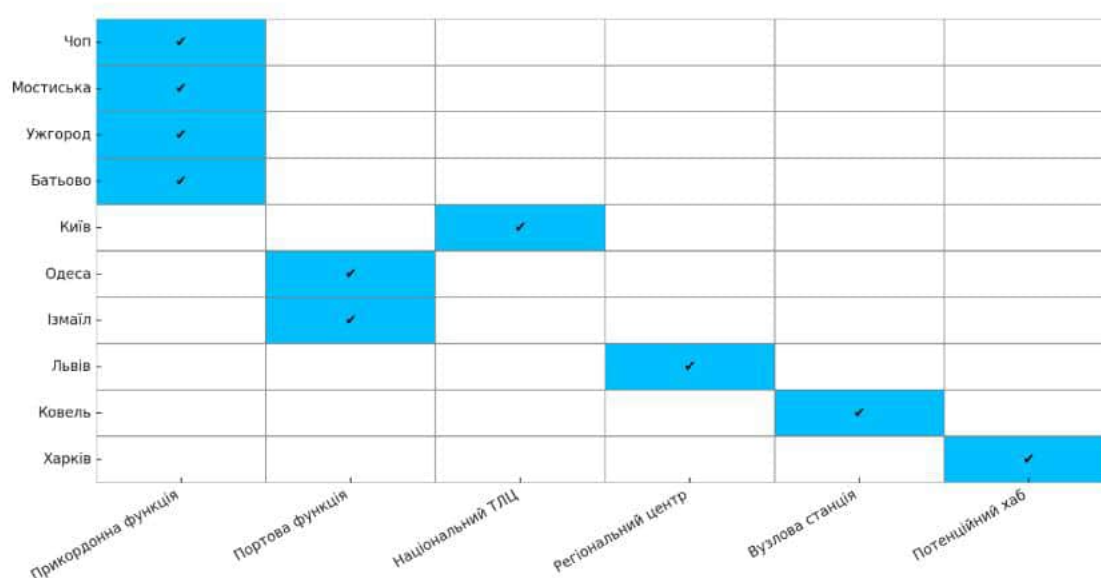


Рисунок 2.4 – Матриця функціональної приналежності ключових логістичних вузлів мультимодальної інфраструктури України (2024 рік)

Зазначені фактори свідчать про обмежений рівень інтеграції української інфраструктури до європейської мультимодальної системи, що значно

ускладнює потенційну участь у транспортних коридорах TEN-T. З метою досягнення цілісності мультимодальної мережі, Україна має активізувати політику розвитку логістичних кластерів, створення державної підтримки на модернізацію вузлів перетворення виду транспорту, а також сприяти цифровій інтеграції в рамках міжнародних угод і стандартів.

Просторово-мережеві особливості мультимодальних перевезень в Україні. Просторово-мережева структура мультимодальних перевезень в Україні формувалась історично нерівномірно під впливом експортно-орієнтованої моделі економіки та територіальної концентрації промисловості. Внаслідок цього найбільш розвинені мультимодальні вузли сформувалися у приморських та прикордонних регіонах, тоді як центральні та північно-східні області демонструють відносно низький рівень інтеграції до мультимодальних логістичних мереж.

Географічне розміщення основних транспортних коридорів визначає характер та інтенсивність вантажопотоків. Через територію України проходять ключові європейські коридори, зокрема Балтійсько-Чорноморський, Карпатський та Транскаспійський, які забезпечують транзитну зв'язність між ЄС, Кавказом, Центральною Азією та Китаєм [32]. У межах України ці коридори реалізуються на базі залізничних і автомобільних магістралей із включенням вузлів перевалки, переоформлення вантажу, а також митного супроводу.

Просторовий аналіз показує, що найбільш навантаженими на сьогодні залишаються напрямки: західний (Львів – Ковель – Ягодин/Мостиська – Польща), південно-західний (Чоп – Батьово – Ужгород – Словаччина/Угорщина), а також напрямок Ізмаїл – Галац – Румунія. Ці коридори стали основними альтернативами традиційним південним маршрутам через Чорноморські порти, які зазнали руйнувань або блокування. У зв'язку з цим інтенсивність перевезень у напрямку ЄС значно зросла, що створює додаткові вимоги до пропускної спроможності залізничної інфраструктури, ефективності термінального обслуговування та узгодженості міжвідомчих процедур [26, 33].

Характерною особливістю є також відсутність замкненості мережі мультимодальних вузлів у межах національної логістичної системи. Наприклад,

ТЛЦ «Ліски» у Києві виконує функції національного хабу, однак має обмежене сполучення з північно-східними промисловими районами (Харків, Суми, Полтава), що ускладнює формування повноцінних логістичних маршрутів для вантажів з високою доданою вартістю. Крім того, зв'язок між внутрішніми вузлами та прикордонними переходами нерідко є лінійним і не дозволяє реалізовувати гнучкі маршрути за принципом «hub-and-spoke» [34].

З позиції інтероперабельності найбільш проблемною залишається межа з ЄС через колійну різницю та відсутність сумісної логістичної інформаційної інфраструктури. Це унеможливорює реалізацію безперервного ланцюга перевезення, вимагаючи перевантаження на стиках, що знижує загальну швидкість доставки вантажу. Крім того, дефіцит інтермодальних маршрутів у межах внутрішньої залізничної мережі стримує розвиток сервісів типу «інтерпорт» та контейнерних поїздів із фіксованим розкладом.

На рисунку 2.5 подано схематичну структуру основних мультимодальних маршрутів України з урахуванням інтеграції до TEN-T.

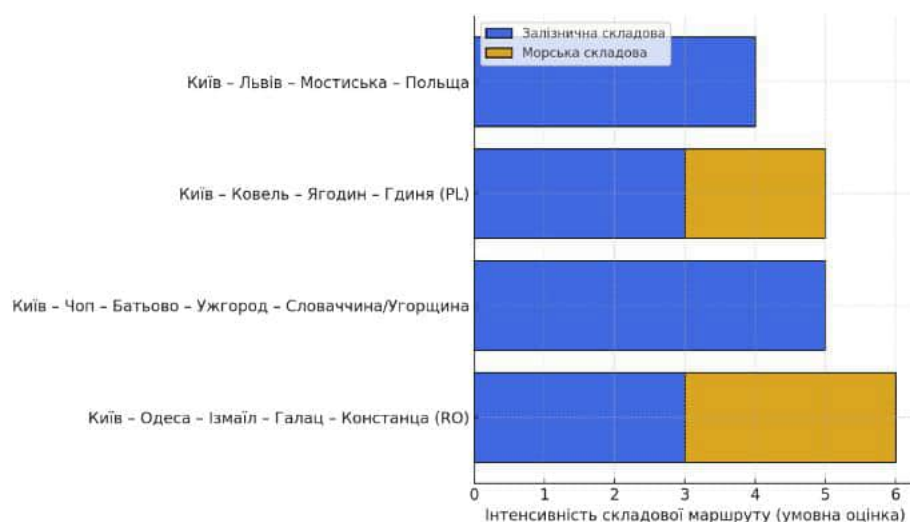


Рисунок 2.5 – Основні мультимодальні маршрути України та їх інтеграція до транспортної мережі TEN-T (станом на 2024 р.)

Таким чином, просторово-мережева модель мультимодальних перевезень в Україні перебуває на етапі функціональної трансформації, з переорієнтацією на західні та дунайські напрямки, проте все ще характеризується

фрагментованістю, нерівномірним розвитком та обмеженою інтероперабельністю. Її подальше вдосконалення потребує як інфраструктурної модернізації, так і цифрового переформатування логістичної взаємодії на національному й транскордонному рівнях [35].

Проведений аналіз підтверджує, що в умовах геополітичної нестабільності та трансформації логістичних зв'язків мультимодальні перевезення в Україні відіграють дедалі важливішу роль у забезпеченні безперервності зовнішньої та внутрішньої торгівлі. Спостерігається стабільне зростання обсягів контейнерних перевезень залізничним транспортом, особливо у напрямках, інтегрованих до західних прикордонних переходів, що компенсує втрати морської інфраструктури.

Разом з тим, сучасна мультимодальна логістична інфраструктура України характеризується високим ступенем територіальної асиметрії, фрагментарністю технічної бази та низьким рівнем цифрової інтеграції між учасниками перевізного процесу. Основні логістичні вузли зосереджені на заході та півдні країни, тоді як потенціал центральних і північно-східних регіонів залишається незадіяним.

Виявлено також значні просторово-мережеві диспропорції у функціонуванні мультимодальних маршрутів. Відсутність повноцінної мережевої взаємодії між внутрішніми та прикордонними вузлами, проблеми інтероперабельності на кордонах з ЄС, а також недостатня гнучкість маршрутної структури обмежують ефективність логістичних операцій. У контексті інтеграції до TEN-T ключовими залишаються напрямки на Польщу, Словаччину, Угорщину та Румунію, однак для повноцінного залучення до європейських логістичних ланцюгів необхідне посилення як фізичної, так і цифрової сумісності інфраструктури.

Таким чином, удосконалення мультимодальних перевезень в Україні повинно ґрунтуватися на системному підході до розвитку інфраструктури, цифровізації операцій, модернізації прикордонних терміналів і розширенні мережі логістичних центрів із врахуванням географічної та функціональної оптимізації.

2.2. Аналіз ефективності функціонування мультимодальних перевезень

Оцінювання ефективності мультимодальних перевезень є важливим інструментом для ухвалення управлінських рішень у сфері транспортної логістики, формування тарифної політики, планування інфраструктурних інвестицій та цифрових трансформацій. У межах дослідження доцільно розглядати ефективність мультимодального транспортування через призму комплексних індикаторів, які включають як техніко-експлуатаційні, так і економічні параметри.

До найважливіших техніко-логістичних показників належать середній час доставки, частка простою на стикових операціях, швидкість обробки вантажу на терміналах, частота рейсів, коефіцієнт використання контейнерного парку, а також рівень дотримання графіків. Умовно ці показники можна згрупувати у три категорії: операційна ефективність, часова надійність і структурна адаптивність логістичного ланцюга [31, 28].

Згідно з аналітичним звітом OECD/ITF, середній час мультимодального перевезення вантажу в ЄС коливається в межах 3,5–5 діб, тоді як в Україні аналогічний показник становить у середньому 6,5–9 діб (залежно від маршруту), що обумовлено високою долею ручного оформлення, неузгодженістю процедур між видами транспорту, а також обмеженою пропускною спроможністю терміналів [32, 33]. Значну частину загального часу становлять простої на пунктах перевантаження (до 36% загального часу в окремих випадках), що свідчить про неефективну організацію логістичних ланцюгів.

Показовим є й індекс надійності доставки (Delivery Reliability Index), який в Україні, за експертними оцінками, не перевищує 75% для мультимодальних маршрутів, тоді як у країнах Центральної Європи сягає 90–93% [35]. Це означає, що в кожному четвертому випадку терміни доставки перевищують допустимі часові рамки, що є критично важливим для високочутливих або строкових вантажів. Також вартісна ефективність мультимодальних перевезень в Україні істотно залежить від тривалості циклу транспортування: кожна додаткова доба

доставки збільшує загальні витрати в середньому на 4–6% у структурі логістичного бюджету [30].

Для відображення цих аспектів доцільним є представлення графіка, який ілюструє порівняння основних техніко-експлуатаційних показників мультимодальних перевезень в Україні та країнах ЄС.

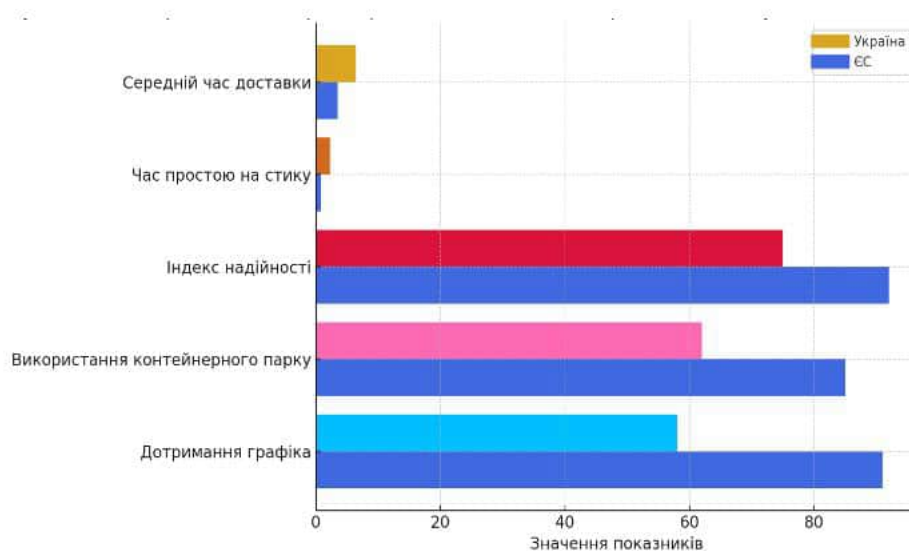


Рисунок 2.6 – Порівняльна характеристика показників ефективності мультимодальних перевезень: Україна vs. ЄС

Враховуючи наведене, можна зробити висновок, що незважаючи на поступове вдосконалення технічної бази та логістичних процедур, вітчизняні мультимодальні перевезення поки не досягають рівня операційної ефективності, прийнятого у країнах ЄС. Ключовими бар'єрами залишаються невисока швидкість проходження вантажу, тривалість стикових операцій, недостатня цифровізація та обмеженість регулярних графіків.

Фактори, що впливають на ефективність мультимодальних перевезень в Україні. На ефективність мультимодальних перевезень впливає широкий спектр факторів, серед яких ключовими є стан транспортної інфраструктури, рівень цифровізації логістичних операцій, інституційна координація між видами транспорту, а також митно-деклараційні процедури. Особливої актуальності ці

чинники набувають у ситуації системної трансформації логістичних маршрутів в умовах воєнного стану та переорієнтації вантажопотоків на західні кордони.

Одним із визначальних чинників залишається інфраструктурне обмеження. Багато прикордонних переходів (Мостиська, Чоп, Батьово) мають обмежену кількість шляхів для перевантаження контейнерів або перешивання вагонів. Відсутність достатньої кількості рамп, складів тимчасового зберігання, технічних засобів обробки вантажу суттєво впливає на тривалість обслуговування [35]. Це, у свою чергу, позначається на загальному часі проходження мультимодального маршруту та збільшує вартісну компоненту логістичних витрат.

Другим визначальним чинником є цифрова недостатність логістичних процесів. Відсутність єдиної електронної платформи для координації між учасниками ланцюга постачання, зокрема між залізничними операторами, автомобільними перевізниками, митницею та логістичними центрами, призводить до дублювання інформації, затримок оформлення та зростання адміністративних витрат. Незважаючи на імплементацію таких інструментів, як e-CMR, eFTI та Single Window, реальний рівень їх застосування на регулярній основі залишається низьким [24, 25].

Третім важливим фактором є нестача регулярності у роботі мультимодальних маршрутів. Більшість перевезень організовується в реактивному режимі — під замовлення, без фіксованих графіків відправлення, що не дозволяє досягти ефективного використання контейнерного парку та оптимального завантаження терміналів [34]. У порівнянні з європейською практикою, де контейнерні потяги курсують з фіксованим розкладом та часовими слотами, українські маршрути мають нижчий рівень передбачуваності.

Суттєво впливають і регуляторно-інституційні обмеження, зокрема фрагментованість правового поля між різними видами транспорту, відсутність гармонізованої системи тарифоутворення на мультимодальні послуги, обмежений доступ приватних операторів до прикордонної інфраструктури. Ці аспекти ускладнюють розвиток конкуренції та уповільнюють інтеграцію України до єдиного європейського логістичного простору [7, 22].

Крім того, варто враховувати людський фактор — недостатній рівень підготовки персоналу терміналів, нестача фахівців із цифрових логістичних технологій, а також низький рівень мовної та нормативної сумісності у прикордонних операціях з країнами ЄС.

Комплексна дія зазначених факторів формує системні обмеження, що стримують зростання ефективності мультимодальних перевезень в Україні навіть за наявності попиту та інституційної підтримки з боку держави та міжнародних організацій. Усунення цих бар'єрів має стати ключовим напрямом державної транспортної політики найближчих років.

Порівняльна оцінка ефективності мультимодальних перевезень в Україні та країнах ЄС. Порівняльний аналіз функціонування мультимодальних перевезень в Україні та країнах Європейського Союзу дозволяє виявити структурні диспропорції, визначити передові практики та обґрунтувати напрями для гармонізації національної логістичної системи з європейськими стандартами. У контексті інтеграції України до мережі TEN-T особливої уваги набувають питання часової надійності, технологічної сумісності, пропускну здатності інфраструктури, а також рівня автоматизації логістичних процедур.

Одним з головних відмінностей є рівень інституційної інтеграції логістичного середовища. У країнах ЄС мультимодальні перевезення функціонують на базі єдиного цифрового середовища (Digital Transport and Logistics Environment), що забезпечує безперервність даних на всіх етапах перевезення [13, 18]. В Україні ж обмін інформацією між суб'єктами логістичного ланцюга часто відбувається в ручному режимі або через несумісні системи, що ускладнює координацію й оперативність.

Ще одним важливим параметром є питомі витрати логістичного циклу. За оцінками Міжнародного транспортного форуму, середня вартість перевезення одного контейнера на відстань 1000 км у ЄС становить приблизно 820 євро, тоді як в Україні — понад 1100 євро, з урахуванням простоїв, додаткових перевантажень та обмежень інфраструктури [32, 33]. Крім того, у ЄС до 80%

мультимодальних маршрутів мають регулярний графік курсування, тоді як в Україні ця частка не перевищує 15% [35].

Значною залишається й різниця у тривалості перевезення. Для стандартного мультимодального маршруту (наприклад, контейнерний потяг з Роттердама до Відня) доставка триває 2,5 доби, тоді як аналогічний маршрут в Україні (Київ – Львів – Мостиська – Польща) — щонайменше 5–6 діб, включаючи час на перевантаження, оформлення та очікування в чергах [26].

Порівняльні показники ефективності представлені на рисунку 2.7, де для візуалізації наведено дані щодо середнього часу доставки, індексу надійності, вартості та ступеня цифровізації мультимодальних операцій.

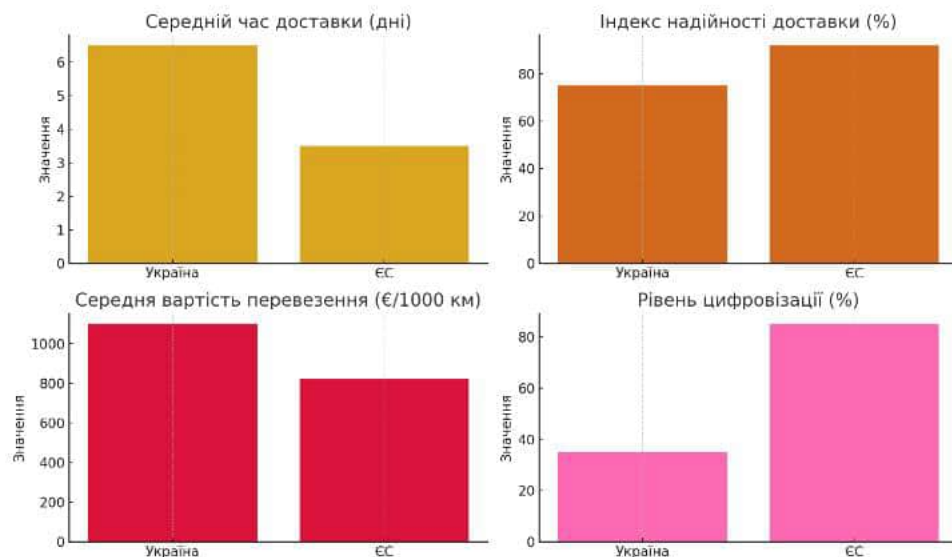


Рисунок 2.7 – Порівняльні показники ефективності мультимодальних перевезень в Україні та країнах ЄС (2024 рік)

Оцінка виявлених відмінностей дозволяє зробити висновок про те, що вітчизняна модель мультимодальних перевезень наразі поступається європейській як за якісними, так і за кількісними параметрами. Для досягнення сумісності та конкурентоспроможності необхідне не лише оновлення фізичної інфраструктури, й системна цифрова трансформація логістичних процесів відповідно до вимог eFTI, CEF Digital та e-CMR [18, 24].

Проведений аналіз ефективності функціонування мультимодальних перевезень в Україні засвідчив наявність суттєвих системних розбіжностей порівняно з країнами Європейського Союзу. З одного боку, вітчизняна транспортно-логістична система має об'єктивні передумови для розвитку мультимодальних сервісів (географічне положення, наявність розгалуженої мережі залізничної інфраструктури, прикордонні та портові вузли). З іншого боку, її поточна ефективність залишається на недостатньому рівні через комплекс інституційних, технічних, цифрових та організаційних факторів.

Ключовими проблемами залишаються значна тривалість доставки вантажів, висока частка простоїв на стикових операціях, нестабільність графіків перевезень та обмежене використання цифрових технологій. Відсутність єдиної інформаційної платформи, фрагментарність інфраструктурних рішень і слабка інтегрованість з європейською мережею логістики обмежують можливості повноцінної участі України в мультимодальних ланцюгах постачання на європейському рівні.

Порівняльна оцінка показала, що за основними критеріями — середній час доставки, індекс надійності, рівень цифровізації та вартісна ефективність — Україна суттєво поступається країнам ЄС. Навіть найбільш активні маршрути, які інтегровані до мережі TEN-T, демонструють нижчу передбачуваність, гнучкість і якість обслуговування.

Таким чином, підвищення ефективності мультимодальних перевезень в Україні потребує системного підходу, що включає інфраструктурну модернізацію прикордонних і внутрішніх вузлів, впровадження єдиних цифрових сервісів, узгодження нормативної бази з європейськими стандартами, а також підвищення операційної координації між видами транспорту. Результатом цих заходів має стати формування високонадійної, конкурентоспроможної та інтегрованої до TEN-T мультимодальної системи, здатної забезпечити ефективне переміщення вантажів в умовах сучасних викликів.

2.3 Впровадження цифрових технологій в організацію мультимодальних перевезень

Цифровізація транспортно-логістичної системи є ключовим чинником підвищення ефективності мультимодальних перевезень, особливо в умовах інтеграції до європейської транспортної мережі. У світі спостерігається перехід від традиційного інфраструктурного підходу до концепції цифрової логістики, де основна увага приділяється оптимізації процесів через використання даних, автоматизацію обробки вантажів та інтероперабельність інформаційних систем. Для мультимодального транспортування цифрові технології відіграють вирішальну роль у забезпеченні безперервності ланцюга постачання, зменшенні витрат часу та ресурсів на стикуванні між видами транспорту, а також підвищенні прозорості операцій.

У національній практиці формування цифрового середовища в мультимодальних перевезеннях перебуває на початковому етапі. Станом на 2024 рік в Україні запроваджено лише окремі цифрові рішення, які не охоплюють повний логістичний цикл. Зокрема, система єдиного вікна для міжнародної торгівлі функціонує лише на певних митних переходах, тоді як у сфері залізничного та автомобільного транспорту відсутня повноцінна інтеграція з іншими цифровими платформами [24, 26].

На практиці це означає, що кожен учасник мультимодального процесу — вантажовласник, перевізник, термінальний оператор, митниця, логістичний координатор — оперує власними інформаційними системами, між якими немає прямого обміну даними. Це спричиняє дублювання інформації, збільшення адміністративного навантаження та затримки в обробці вантажів, особливо на стиках видів транспорту [31].

Для подолання цих обмежень дедалі актуальнішим стає запровадження так званих інтероперабельних цифрових платформ, які дають змогу об'єднати інформаційні потоки між залізничним, морським, автомобільним та повітряним видами транспорту. На прикладі ЄС функціонують такі системи, як eFTI

(electronic Freight Transport Information), e-CMR та Digital Transport and Logistics Forum (DTLF), які забезпечують не лише стандартизований обмін даними, а й легальну значущість електронних документів при проходженні кордонів [18, 32].

У цьому контексті доцільним є представлення узагальнюючої таблиці 2.1, яка демонструє основні функціональні елементи цифрової логістичної інфраструктури, необхідної для ефективної організації мультимодальних перевезень.

Таблиця 2.1 – Ключові елементи цифрової логістичної інфраструктури мультимодальних перевезень

Елемент	Призначення	Приклади реалізації
Електронні транспортні документи	Автоматизація оформлення вантажів і скорочення часу перевірки	e-CMR, електронна накладна, e-waybill
Платформи інтероперабельності	Інтеграція даних між видами транспорту	eFTI, цифрові коридори TEN-T
Системи відстеження вантажу	Контроль місцезнаходження і статусу доставки в реальному часі	GPS-трекінг, IoT, AIS
Єдине вікно для торгівлі	Узгодження митних і логістичних процедур	Система "Single Window", інтеграція з митницею
Інтелектуальні термінали	Автоматизоване сортування, зберігання та навантаження	RFID-сканери, роботизовані склади, SCADA-системи

Упровадження таких елементів є запорукою створення наскрізної цифрової інфраструктури, яка забезпечить реальну безперервність мультимодального перевезення. Вони також формують передумови для переходу до прогностного управління логістикою, коли системи самостійно оптимізують маршрути, графіки та ресурси в режимі реального часу.

Попри численні програми цифровізації та підтримку з боку міжнародних партнерів, сучасний стан цифрового забезпечення мультимодальних перевезень в Україні не відповідає потребам інтегрованої логістичної системи. Це обумовлено як об'єктивними, так і суб'єктивними чинниками: війною, фрагментованістю інституційної моделі, відсутністю єдиної політики у сфері

транспортної цифровізації, а також низьким рівнем технічної сумісності між видами транспорту.

Наразі в Україні відсутня централізована інформаційна платформа управління мультимодальними перевезеннями, яка б забезпечувала обмін даними між усіма учасниками транспортного процесу. Функціонують лише локальні модулі (наприклад, АС «Укрзалізниці» для обробки електронних перевізних документів), але ці системи не мають інтеграції з морськими, автомобільними або митними платформами. У результаті учасники змушені дублювати дані в кількох системах або передавати інформацію вручну, що значно уповільнює та ускладнює перевізний процес [26, 27, 34].

Ключовим бар'єром залишається відсутність національної цифрової інтероперабельності, тобто технічної здатності інформаційних систем різних секторів транспорту обмінюватися даними у спільному форматі. Наразі в Україні немає затвердженого стандарту на обмін електронною інформацією в мультимодальному середовищі, аналогічного європейському регламенту eFTI (Electronic Freight Transport Information) [32]. Це обмежує можливості для підключення до європейських логістичних платформ і погіршує взаємодію з партнерами.

Водночас значною проблемою є низький рівень автоматизації прикордонних логістичних вузлів, зокрема залізничних і портових терміналів. У багатьох випадках перевірка супровідних документів, зважування, розподіл вагонів і підтвердження навантаження здійснюються вручну або з використанням застарілих програмних засобів. Це збільшує час простою, створює нерівномірність обслуговування та унеможливорює динамічне переналаштування маршрутів відповідно до змін у реальному часі [29, 35].

Окремо варто відзначити інституційну фрагментованість цифрової політики в галузі транспорту. Різні відомства — Міністерство інфраструктури, АТ «Укрзалізниця», Держмитслужба, приватні логістичні оператори — реалізують цифрові ініціативи без координації між собою. Це призводить до несумісності технічних рішень і унеможливорює створення єдиної транспортно-інформаційної системи на національному рівні [24, 25].

У таблиці 2.2 нижче узагальнено основні цифрові обмеження, які перешкоджають розвитку мультимодальних перевезень в Україні

Таблиця 2.2 – Основні проблеми цифровізації мультимодальних перевезень в Україні станом на 2024 рік

Категорія проблеми	Суть	Потенційні наслідки
Технічна	Відсутність інтеграції між видами транспорту, несумісність систем	Затримки, дублювання даних, помилки
Інституційна	Відсутність єдиної координації цифрової політики	Несистемність впровадження, дублювання ініціатив
Регламентна	Відсутність нормативної бази, адаптованої до eFTI	Неможливість інтеграції до платформ ЄС
Операційна	Низький рівень автоматизації логістичних вузлів	Збільшення тривалості обслуговування, зменшення ефективності
Кадрова	Нестача фахівців у сфері цифрової логістики	Гальмування інновацій, помилки в експлуатації систем

Таким чином, подолання цифрових бар'єрів вимагає одночасних зусиль на рівні технічної модернізації, стандартизації процедур і координації між учасниками логістичного середовища.

Цифрова трансформація мультимодальних перевезень у Європейському Союзі здійснюється на основі стратегічного бачення інтегрованого транспортного простору, де ключову роль відіграє уніфікована цифрова інфраструктура та регламентована взаємодія всіх учасників логістичного процесу. При цьому особливу увагу приділено питанням інтероперабельності, правового визнання електронних документів, автоматизації термінальної обробки вантажів і захисту цифрових даних.

Одним з базових інструментів є Регламент ЄС 2020/1056, який запроваджує обов'язкову цифрову взаємодію в усіх видах вантажних перевезень у межах ЄС. На його основі впроваджується інфраструктура eFTI (electronic Freight Transport Information), що забезпечує уніфікований обмін даними між державами-членами, перевізниками, митними та контрольними органами [18].

eFTI є однією з головних складових цифрових коридорів TEN-T і дозволяє повністю відмовитися від паперових супровідних документів.

Також важливим напрямом є широке застосування e-CMR (електронна міжнародна транспортна накладна), яка отримала юридичне визнання в понад 30 країнах, включно з державами-членами ЄС. Вона дає змогу автоматизувати контроль, прискорити прикордонні процедури та забезпечити в режимі реального часу відстеження переміщення вантажу [32]. На її основі впроваджуються спеціалізовані цифрові сервіси, інтегровані з митними платформами та системами операторів інфраструктури.

Іншим важливим європейським кейсом є Форум цифрових транспортних і логістичних технологій (DTLF), створений Європейською комісією з метою розроблення цифрових стандартів і гармонізації інформаційного середовища. DTLF розробляє еталонні архітектури цифрового обміну (Reference Architecture for Logistics Information Exchange) та сприяє реалізації пілотних проєктів в інтермодальних коридорах, зокрема PIONEERS, FENIX, FEDeRATED [18, 36].

До ключових компонентів європейської цифрової логістики належать:

- Smart Port Platforms — цифрові платформи, які поєднують функції відстеження, планування, навантаження/розвантаження та автоматичної звітності в портах (наприклад, Port of Rotterdam, Antwerp Port Community System);
- Rail Freight Corridors Digitalization — інтегровані інформаційні системи на транс'європейських залізничних коридорах, що забезпечують управління слотами, координацію терміналів і передбачуваність перевезень;
- Intermodal Visibility Platforms — рішення на базі IoT, API та блокчейн для наскрізного контролю руху вантажів в інтермодальному середовищі (наприклад, NexTrust, iCargo) [31].

У таблиці 2.3 нижче представлено порівняльну характеристику основних цифрових практик ЄС, які можуть бути адаптовані в українських умовах:

Таблиця 2.3 – Європейські цифрові інструменти для мультимодальних перевезень

Цифровий інструмент	Призначення	Країни впровадження	Актуальність для України
eFTI	Уніфікований обмін цифровими даними між транспортними суб'єктами	ЄС-27	Висока
e-CMR	Юридично визнаний цифровий документ для автоперевезень	36 країн (у т.ч. FR, DE, NL)	Висока
Port Community Systems	Автоматизація логістики у морських портах	Нідерланди, Бельгія, Іспанія	Висока
DTLF Frameworks	Стандартизація цифрової взаємодії	ЄС	Висока
FENIX / FEDeRATED	Пілотні цифрові коридори TEN-T	Італія, Іспанія, Німеччина, Бельгія	Середня (адаптація можлива)

Таким чином, європейський досвід свідчить, що успішна цифровізація мультимодальних перевезень ґрунтується на комплексному підході, де поєднуються правові, технічні, операційні та інституційні рішення. Його вивчення та адаптація є стратегічно важливими для формування в Україні ефективної та сумісної з ЄС цифрової логістичної екосистеми.

Цифровізація є ключовим напрямом розвитку мультимодальних перевезень у сучасних умовах інтеграції до європейського логістичного простору. Проведений аналіз засвідчив, що цифрові технології відіграють вирішальну роль у підвищенні ефективності транспортних операцій, забезпеченні безперервності логістичних ланцюгів, мінімізації затримок на стиках між видами транспорту та підвищенні прозорості вантажного процесу.

В Україні цифрова трансформація мультимодальної логістики ще не набула системного характеру. Існує низка проблем: відсутність єдиної цифрової платформи, нестача інтероперабельних рішень, слабка автоматизація прикордонних вузлів, відсутність гармонізованої нормативно-правової бази та низький рівень координації між інституціями. Усі ці обмеження перешкоджають

формуванню ефективної цифрової інфраструктури, що відповідає б сучасним вимогам європейських транспортних коридорів.

У цьому контексті значний інтерес становить європейський досвід цифровізації, який базується на таких елементах, як eFTI, e-CMR, Port Community Systems, стандарти DTLF та цифрові коридори типу FENIX. Вони демонструють успішні приклади правового, технічного та організаційного забезпечення наскрізного цифрового управління мультимодальними перевезеннями.

Впровадження цифрових технологій у сферу мультимодальної логістики має стати одним з пріоритетних напрямів державної транспортної політики України. Для цього необхідно реалізувати інтеграційні заходи з урахуванням кращих європейських практик, оновити нормативну базу, запровадити міжвідомчу інформаційну сумісність та підтримати розвиток інфраструктури «розумних» терміналів і логістичних вузлів. Це дозволить не лише підвищити ефективність національної транспортної системи, а й забезпечити її стійку інтеграцію до мережі TEN-T.

2.4 Вивчення міжнародного досвіду цифрової організації мультимодальних перевезень та можливості його адаптації в Україні

США є одним із провідних світових лідерів у сфері розвитку цифрових рішень для мультимодального транспорту. Попри те, що нормативно-правова модель США суттєво відрізняється від європейської, їхній досвід у розбудові інтелектуальної транспортної інфраструктури (ITS – Intelligent Transportation Systems), а також застосування цифрових технологій у логістиці є особливо цінним у прикладному вимірі.

Центральним стратегічним документом у цій сфері є National Freight Strategic Plan (NFSP), розроблений Міністерством транспорту США (USDOT), що визначає пріоритети розвитку інфраструктури, включаючи цифрову

компоненту. Особлива увага приділяється взаємодії між залізничним, автомобільним, морським та авіаційним секторами на засадах інформаційної прозорості, прогнозування та цифрової координації [37].

На федеральному рівні діють кілька цифрових платформ для мультимодального моніторингу й управління. Однією з ключових є Freight Analysis Framework (FAF) – інтегрована база даних, яка поєднує дані про вантажопотоки між регіонами, видами транспорту та логістичними центрами. FAF застосовується для стратегічного планування та моделювання мультимодальних маршрутів [38].

Ще одним прикладом є Advanced Freight Mobility Systems, які впроваджуються в межах програми ITS Joint Program Office. Ці системи об'єднують в єдиний цифровий простір операторів інфраструктури, логістичні компанії, порти, автотранспорт і залізниці. Застосування технологій V2I (Vehicle-to-Infrastructure), AI-алгоритмів розподілу вантажів, а також блокчейн-елементів у верифікації документів забезпечує високий рівень операційної прозорості й передбачуваності [39].

Особливістю американського підходу є те, що державне регулювання обмежене стандартами безпеки, проте координація мультимодальної цифровізації здійснюється через публічно-приватні партнерства. Наприклад, такі організації як Intermodal Association of North America (IANA) та American Association of Port Authorities (AAPA) створюють галузеві стандарти обміну інформацією та технічної взаємодії.

У цьому контексті інтерес становить ініціатива Port Information Optimization Technologies (PIOT), яка реалізована в Лос-Анджелесі та Лонг-Біч: це цифрова платформа, що синхронізує роботу терміналів, складів, залізничного й автомобільного транспорту на основі відкритих API, GPS-моніторингу та даних прогнозного попиту [40].

Загалом, у США сформовано багаторівневу систему цифрової логістики мультимодальних перевезень, яка ґрунтується на таких принципах:

- інтегроване використання цифрових сервісів у реальному часі (tracking, optimization, automation);

- мінімальне втручання регулятора в операційні процеси, натомість стимулювання інновацій через інвестиції та стандартизацію;
- високий рівень технічної адаптації приватного сектору, зокрема логістичних провайдерів і термінальних операторів;
- активна роль цифрових інфраструктур у логістичних хабах, особливо портах Західного узбережжя.

Таким чином, американський досвід цифровізації мультимодальних перевезень демонструє ефективність гнучких, ринково-орієнтованих підходів, де цифрові технології використовуються не лише для обміну інформацією, а й для активного управління логістичними потоками. Цей підхід має важливе значення для адаптації в українських умовах, особливо з урахуванням високої ролі приватних логістичних операторів і необхідності розвитку публічно-приватного партнерства.

Аналіз цифрової організації мультимодальних перевезень у США та ЄС дозволяє окреслити дві принципово різні, але взаємодоповнюючі моделі. Американська модель базується на гнучкості, ініціативі приватного сектору, публічно-приватному партнерстві та швидкому впровадженні новітніх технологій без обов'язкової державної регламентації. Натомість європейська модель відзначається високим рівнем стандартизації, нормативного регулювання та міждержавної інтероперабельності, що особливо актуально в умовах інтегрованого ринку ЄС (таблиця 2.4).

Таблиця 2.4 - Порівняльна характеристика цифрової логістичної політики США та Європейського Союзу

Критерій	США	ЄС
Роль держави	Мінімальна (координація, фінансування інновацій)	Висока (регламенти, сертифікація, зобов'язання)
Стандартизація	Галузеві ініціативи, гнучка інтеграція	Формалізована, обов'язкова для держав-членів
Цифрові платформи	Різномірні, комерційні, часто приватні	Сертифіковані, з інтеграцією до TEN-T
Джерело інновацій	Приватний сектор, великі логістичні оператори	Наднаціональні ініціативи, підтримка через CEF
Приклад впровадження	Port Optimizer (LA), Freight Mobility ITS	eFTI, e-CMR, PCS (Antwerp, Rotterdam), FENIX

У контексті України, що перебуває на етапі формування цифрової логістичної екосистеми, поєднання переваг обох підходів є стратегічно доцільним:

1 З боку США доцільно адаптувати:

- механізми публічно-приватного партнерства в цифровій логістиці (Port Optimizer, IANA-ініціативи),
- використання інноваційних технологій (AI-оптимізація, блокчейн, GPS/IoT на базі відкритих API),
- децентралізовану розробку цифрових сервісів із фокусом на гнучкість та ринкову адаптацію.

2 З боку ЄС критично важливим є:

- впровадження правових основ для обміну цифровими даними (eFTI, e-CMR),
- гармонізація з європейськими форматами TEN-T і PCS,
- реалізація інституційного механізму державного контролю якості, сертифікації платформ і спільного цифрового середовища для усіх видів транспорту.

Оцінка наявних українських передумов (див. підрозділ 2.2) свідчить про високу залежність від державних ініціатив, слабкість приватного сектору в розробці цифрових рішень, а також нестачу міжвідомчої координації. Це дозволяє зробити висновок, що для початкового етапу адаптації більш релевантною є європейська модель, яка забезпечує формальні правові рамки, фінансування з боку ЄС, підтримку інституційної сумісності.

У таблиці 2.5 нижче узагальнено можливості адаптації ключових міжнародних практик в українських умовах:

Таблиця 2.5 – Можливості адаптації міжнародних рішень у цифровій логістиці України

Практика	Країна	Рівень адаптації в Україні	Примітка
e-CMR	ЄС	Високий	Україна ратифікувала Протокол у 2022 р.
eFTI	ЄС	Середній	Потребує змін до законодавства
Port Optimizer	США	Середній	Потребує модернізації терміналів
PCS (Antwerp/Rotterdam)	ЄС	Середній	Пілотні рішення в Одесі можливо адаптувати
Freight Analysis Framework	США	Низький	Потребує доступу до відкритих даних та методики
DTLF стандарти	ЄС	Високий	Можуть бути запроваджені через гармонізацію TEN-T

Ефективна адаптація міжнародного досвіду передбачає не буквально копіювання моделей, а створення гібридного підходу, орієнтованого на реалії української інфраструктури, правового поля та можливостей цифрової трансформації. Це дозволить забезпечити стійку інтеграцію до європейського простору мультимодальної логістики та водночас зберегти гнучкість у побудові цифрових сервісів.

Аналіз міжнародного досвіду цифровізації мультимодальних перевезень свідчить про наявність двох основних моделей — американської (гнучкої, приватно орієнтованої) та європейської (регламентованої, інтегрованої на наднаціональному рівні). Обидві моделі демонструють високий ступінь ефективності, однак базуються на різних принципах взаємодії між державою, бізнесом і технічними платформами.

З огляду на специфіку українського логістичного середовища, найбільш реалістичною є адаптація європейського підходу, орієнтованого на нормативну сумісність, інституційну підтримку та інтеграцію до мережі TEN-T. Водночас американські технологічні підходи — зокрема, гнучкі інтерфейси цифрових платформ, елементи штучного інтелекту, блокчейн і відкриті API — можуть бути

ефективно використані при реалізації пілотних проєктів у морських портах, прикордонних терміналах та логістичних хабах.

Формування власної моделі цифрової логістики має спиратися на:

- європейські правові рамки (eFTI, e-CMR);
- американську інноваційну гнучкість;
- національні пріоритети цифрової трансформації у сфері транспорту.

Загальні висновки до розділу 2. У другому розділі досліджено сучасний стан організації мультимодальних перевезень в Україні, зосереджено увагу на структурних особливостях логістичної інфраструктури, цифрових бар'єрах, а також здійснено порівняльну оцінку ефективності національної системи з провідними міжнародними моделями.

Проаналізовано стан функціонування мультимодальних маршрутів, терміналів та вузлів, виявлено критичні проблеми, пов'язані з відсутністю інтегрованих цифрових платформ, низьким рівнем автоматизації прикордонної логістики, нестачею правових механізмів електронної взаємодії.

У розділі було доведено, що ефективна цифрова трансформація української системи мультимодальних перевезень можлива лише за умов інституційної координації, модернізації нормативно-правової бази, впровадження цифрових платформ на засадах сумісності з європейськими стандартами та адаптації технологічних рішень міжнародного рівня.

Результати, отримані в розділі 2, створюють підґрунтя для розробки практичних рекомендацій, моделювання цифрових рішень та оптимізації мультимодального процесу, що буде висвітлено у наступному розділі.

3 Удосконалення мультимодальних перевезень за участю залізничного транспорту

3.1 Обґрунтування вибору методів оптимізації та моделювання мультимодальних вантажних перевезень

Постановка задачі та особливості мультимодального середовища. Оптимізація мультимодальних перевезень у сучасній транспортній системі є однією з найскладніших логістичних задач через її багаторівневу структуру, різноманітність ресурсів, часову несинхронізованість операцій та високий рівень взаємозалежності між видами транспорту. У порівнянні з одноmodalними перевезеннями, мультимодальна логістика потребує обліку додаткових факторів: технології перевалки, розкладів стикових перевезень, правил переходу між транспортними системами, нормативних і митних обмежень, а також параметрів транспортних засобів і вузлів інфраструктури.

Математично задача мультимодального планування зазвичай формулюється як задача оптимального вибору маршруту (route selection problem) з множинними обмеженнями, де цільова функція може мінімізувати:

- сукупні витрати на перевезення;
- загальний час доставки;
- кількість перевалок;
- або зважене поєднання цих критеріїв.

Ключовою особливістю таких задач є наявність залежностей між рішеннями щодо вибору маршруту, типу транспорту та часу стикування, що призводить до необхідності застосування комбінованих моделей. У роботах [41, 42] показано, що мультимодальні маршрути слід розглядати як графові структури з декількома типами дуг, кожна з яких відповідає певному виду транспорту (залізничний, морський, автомобільний тощо). Крім того, для кожного виду транспорту можуть бути визначені свої часові інтервали доступності, обмеження за масою, вартістю та надійністю.

У зв'язку з цим, ефективна математична модель має враховувати:

- множинність альтернатив для кожного транспортного сегмента;
- дискретність вибору (тип ТЗ, вузол стикування, маршрут);
- неперервні змінні (витрати, час, ресурси);
- детерміновані або стохастичні умови (затримки, очікування, наявність маршрутів);
- зовнішні обмеження — правові, технічні, часові.

Сукупність таких характеристик зумовлює віднесення задачі оптимізації мультимодального перевезення до класу NP-складних комбінаторних задач [43]. Їх вирішення вимагає використання інструментів математичного програмування, евристики або імітаційного моделювання — залежно від мети аналізу, обсягу даних та рівня деталізації. Саме обґрунтованому вибору відповідних методів і присвячено наступні частини підрозділу.

Огляд математичних та алгоритмічних методів

З огляду на складність задачі оптимізації мультимодальних перевезень, актуальними є кілька підходів до моделювання та розв'язання таких задач. Вибір методу залежить від структури логістичної мережі, наявності інформації, обмежень у розрахунках і вимог до точності.

1 *Моделі змішаного цілочисельного програмування (MILP).* Одним із найбільш формалізованих методів оптимізації логістичних систем є моделі змішаного цілочисельного програмування (Mixed Integer Linear Programming, MILP). Вони дозволяють моделювати вибір маршруту, типу транспортного засобу, терміналу перевалки, а також часових вікон з урахуванням дискретних і неперервних змінних.

У дослідженнях [42, 43] MILP застосовується для:

- вибору оптимального маршруту на основі критеріїв витрат і часу;
- синхронізації між сегментами перевезення (rail-truck-sea);
- обмеження за ємністю терміналів, тривалістю перевалки, доступністю ресурсів.

Переваги MILP:

- точність рішення;

- можливість інтеграції в стандартні оптимізаційні пакети (Gurobi, CPLEX);
- прозора математична інтерпретація.

Недоліки:

- висока обчислювальна складність при зростанні кількості змінних;
- нечутливість до стохастичних факторів (без спеціального розширення).

2 *Евристичні та метаевристичні методи.* З метою скорочення обчислювальних витрат при великих масштабах задачі використовуються евристичні алгоритми, які забезпечують наближене оптимальне рішення за прийнятний час.

Найбільш відомі:

- генетичні алгоритми (GA);
- мурашиний алгоритм (ACO);
- алгоритм імітації відпалу (SA);
- гібридні моделі GA + Local Search / SA + Tabu Search.

Ці методи, як показано в роботах [44, 45], особливо ефективні в умовах:

- багатокритеріальності (вартість, час, екологічність);
- варіативності маршрутів;
- зміни умов у реальному часі (динамічне перепланування).

Евристики використовуються в системах динамічного маршрутизування, цифрових логістичних платформах та платформах підтримки прийняття рішень (DSS).

3 *Порівняльний вибір.* У таблиці 3.1 наведено порівняльну характеристику основних методів:

Найбільш збалансованим підходом є поєднання MILP-моделей для глобальної оптимізації маршрутів та евристичних алгоритмів для адаптивного прийняття рішень в динамічному середовищі. Для моделювання функціонування вузлів і стикувань доцільно використовувати імітаційні моделі.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика підходів до моделювання мультимодальних перевезень

Метод	Точність	Швидкість	Масштабованість	Врахування стохастики	Придатність для мультимодальних задач
MILP	Висока	Середня/Низька	Низька	Ні (без модифікацій)	Висока (для формалізованих задач)
GA / ACO / SA	Середня/Висока (наближено)	Висока	Висока	Частково	Висока (адаптивно)
Імітаційне моделювання	Низька (але наочна)	Середня	Висока	Так	Висока (особливо для вузлів)

Приклад реалізації такого підходу можна знайти в системах типу digital twin — цифрових двійників мультимодальних вузлів, які дають змогу не лише проаналізувати ефективність поточних рішень, а й в режимі реального часу адаптувати планування під впливом зовнішніх чинників (погодні умови, зміни розкладів, аварії тощо).

З урахуванням вищезазначеного, у рамках даної магістерської роботи доцільним є побудова базової моделі оптимізації мультимодального маршруту з використанням MILP, із подальшою перевіркою її ефективності в імітаційному середовищі за допомогою дискретно-подієвого підходу. Це дозволить обґрунтувати прийняття оптимізаційних рішень і виявити вузькі місця логістичної мережі в умовах цифрової трансформації.

3.2 Побудова математичної моделі оптимізації маршрутів і вибору транспортних засобів при організації мультимодальних перевезень вантажів

Формалізація задачі в умовах мультимодального середовища.
Математичне моделювання процесів мультимодальних перевезень передбачає врахування складної структури транспортної мережі, де вантажі переміщуються через декілька логістичних вузлів за участю різних видів транспорту. Оптимізація в такому середовищі має на меті не лише мінімізацію витрат, а й забезпечення узгодженості за часом, ресурсами та технологічними обмеженнями.

У загальному вигляді задача оптимізації мультимодального перевезення може бути сформульована як задача пошуку маршруту з мінімальними загальними витратами, де:

- кожен маршрут складається з послідовності сегментів, кожен з яких відповідає певному виду транспорту (автомобільний, залізничний, морський тощо);
- кожен сегмент характеризується параметрами: вартість, тривалість, наявність транспортного засобу, обмеження по вантажу;
- перевалки між сегментами пов'язані з додатковими витратами часу й ресурсів.

Для формалізації моделі введемо множини та параметри:

- N — множина логістичних вузлів (станцій, терміналів, портів),
- $A \subseteq N \times N$ — множина можливих сполучень (дуг) між вузлами,
- M — множина доступних видів транспорту (напр., автомобільний, залізничний, морський),
- c_{ij}^m — вартість перевезення між вузлами i та j транспортом типу m ,
- t_{ij}^m — час перевезення між вузлами i та j транспортом типу m ,
- $x_{ij}^m \in \{0,1\}$ — змінна, що визначає, чи обрано дугу (i,j) транспортом типу m ,

- w_i — вартість або час простою (перевалки) у вузлі i .

Загальна цільова функція має вигляд

$$\min \left\{ \sum_{m \in M} \sum_{(i,j) \in A} (c_{ij}^m + \alpha \cdot t_{ij}^m) \cdot x_{ij}^m + \sum_{i \in N} \beta \cdot w_i \right\}, \quad (3.1)$$

де α — ваговий коефіцієнт важливості часу доставки,

β — ваговий коефіцієнт важливості затримок у вузлах.

Ця функція дозволяє гнучко балансувати між витратами й швидкістю доставки, що є критично важливим для мультимодальної логістики.

Обмеження, які враховуються:

- умова наскрізного маршруту: вантаж повинен пройти лише один маршрут від пункту відправлення до пункту призначення;
- транспортна доступність: деякі дуги існують лише для певного типу транспорту;
- збереження потоку: баланс вхідних і вихідних перевезень у проміжних вузлах;
- наявність ТЗ: ресурсне обмеження кількості або типу доступного транспорту.

Система обмежень та уточнення математичної структури. Цільова функція, сформульована в першій частині, визначає критерій ефективності мультимодального перевезення.

1 Обмеження на потоки. Для забезпечення неперервного маршруту від вузла відправлення до вузла призначення застосовуються класичні умови збереження потоку:

- з вузла-відправника виходить один маршрут

$$\sum_{j \in N, m \in M} x_{sj}^m = 1, \quad (3.2)$$

– у вузол-одержувач приходить один маршрут

$$\sum_{i \in N, m \in M} x_{it}^m = 1, \quad (3.3)$$

– для всіх проміжних вузлів баланс вхідних і вихідних потоків

$$\sum_{i \in N, m \in M} x_{ij}^m - \sum_{k \in N, m \in M} x_{jk}^m = 0, \quad \forall j \in N \setminus \{s, t\}, \quad (3.4)$$

де s – вузол відправлення, t – вузол призначення.

2 *Обмеження доступності виду транспорту.* Для деяких дуг можлива обмеженість транспортних засобів певного типу. Це можна задати бінарною матрицею доступності

$$x_{ij}^m \leq A_{ij}^m, \quad \forall (i, j) \in A, \quad \forall m \in M, \quad (3.5)$$

де $A_{ij}^m = 1$, якщо між вузлами i та j є сполучення для транспорту типу m , інакше $- A_{ij}^m = 0$.

3 *Обмеження ресурсів і місткості:*

У випадку обмеженої кількості доступних транспортних засобів R^m певного типу

$$\sum_{(i,j) \in A} x_{ij}^m \leq R^m, \quad \forall m \in M, \quad (3.6)$$

Також можливі обмеження на максимальну кількість перевалок (наприклад, для забезпечення швидкості та надійності)

$$\sum_{i \in N} z_i \leq Z_{max} \quad i \in N, \quad (3.7)$$

де $z_i = 1$, якщо у вузлі i виконується перевалка, і 0 - інакше;

Z_{max} — максимально допустима кількість перевалок.

4 *Обмеження за часом доставки.* Модель може бути розширена умовою на максимальну допустиму тривалість доставки

$$\sum_{(i,j) \in A, m \in M} t_{ij}^m \cdot x_{ij}^m + \sum_{i \in N} w_i \leq T_{max}, \quad (3.8)$$

де t_{ij}^m - час перевезення між i та j для типу m ;

w_i - затримка або час перебування у вузлі;

T_{max} - максимально допустимий час доставки.

5 *Обмеження на стикування.* Додатково можуть бути враховані часові вікна на стикування між видами транспорту. Наприклад, якщо між завершенням морського сегмента і початком залізничного має пройти не більше 6 годин, це формалізується через введення змінних часу прибуття й обробки у вузлі, проте для базової моделі таке уточнення часто вводиться на етапі імітації.

Ця система обмежень дає змогу побудувати повноцінну модель оптимізації мультимодального маршруту, яка є змішаною задачею цілочисельного лінійного програмування (MILP). Надалі ця модель може бути використана для комп'ютерної реалізації з використанням мов AMPL, Python (Pyomo), MATLAB або інтегрована в DSS-систему.

Реалізація моделі у MATLAB та приклад розв'язання задачі. З метою практичного використання побудованої моделі оптимізації мультимодального

маршруту обрано середовище MATLAB, яке надає ефективні засоби для розв'язання задач змішаного цілочисельного програмування (MILP) за допомогою функції `intlinprog`. MATLAB широко застосовується в транспортному моделюванні завдяки своїй доступності, гнучкості, а також вбудованим оптимізаційним модулям.

Приклад розрахунку для базової транспортної мережі з 4 вузлами. Розглянемо спрощену мультимодальну мережу з 4 вузлів ($N = \{1, 2, 3, 4\}$) та 2 видами транспорту (авто — А, залізниця — R). Задача — знайти маршрут з 1 до 4 з мінімальними витратами (таблиця 3.2, рисунок 3.1).

Таблиця 3.2 - Вихідні дані для оптимізації мультимодального маршруту в спрощеній транспортній мережі (можливі дуги й витрати умовні)

Від	До	Тип	Вартість	Час
1	2	A	10	5
1	3	R	8	4
2	3	A	5	2
2	4	R	12	6
3	4	A	6	3

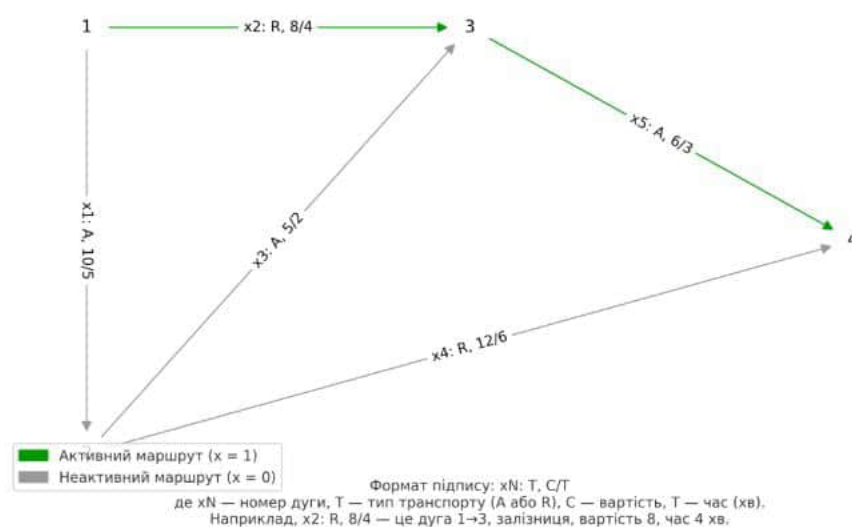


Рисунок 3.1 - Схема обраного маршруту з параметрами дуг та поясненнями (зроблена за допомогою <https://chatgpt.com/>)

Формування вхідних даних у MATLAB (рисунок 3.2):

```
% Вхідні дані
c = [10, 8, 5, 12, 6];           % Витрати
t = [5, 4, 2, 6, 3];           % Час
alpha = 0.5;                     % Вага часу
f = c + alpha .* t;             % Зважені витрати

% Змінні: x1 (1->2,A), x2 (1->3,R), x3 (2->3,A), x4 (2->4,R), x5 (3->4,A)
intcon = 1:5;                   % Усі змінні цілочисельні (0 або 1)
Aeq = [1 1 0 0 0;              % Від вузла 1 одна дуга
        1 0 -1 -1 0;          % Потік через вузол 2
        0 1 1 0 -1];          % Потік через вузол 3
beq = [1; 0; 0];               % Умова балансу

lb = zeros(5,1);
ub = ones(5,1);

% Розв'язання задачі
[x_opt, fval] = intlinprog(f, intcon, [], [], Aeq, beq, lb, ub);

% Вивід результату
disp('Оптимальний маршрут:');
disp(x_opt');
disp(['Мінімізовані витрати: ', num2str(fval)]);
```

Рисунок 3.2 - Фрагмент коду реалізації моделі оптимізації маршруту в середовищі MATLAB

На рисунку 3.2 наведено приклад формування вхідних даних, задання обмежень, а також виклик функції `intlinprog` для розв'язання задачі змішаного цілочисельного програмування з метою мінімізації зважених витрат у мультимодальній транспортній мережі.

У результаті розв'язання моделі за допомогою функції `intlinprog` в середовищі MATLAB отримано (рисунок 3.3):

- вектор $x_{\text{opt}} \in \{0,1\}^5$, що визначає, які дуги маршруту є активними;
- значення мінімальної зваженої функції витрат Z , що враховує як вартість, так і час;
- побудований оптимальний маршрут (наприклад, $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4$), що включає залізничний та автомобільний сегменти.

Таким чином, навіть у спрощеному прикладі продемонстровано, що запропонована модель дозволяє обґрунтовано вибирати комбінацію маршрутів і транспортних засобів з урахуванням багатофакторних критеріїв.

```
Оптимальний маршрут:  
      0      1      0      0      1  
  
Мінімізовані витрати: 17.5
```

Рисунок 3.3 - Результати розв’язання задачі оптимізації маршруту в середовищі
MATLAB

Подібну структуру можливо масштабувати до більшої кількості вузлів, видів транспорту, а також доповнити:

- часовими вікнами,
- обмеженнями ресурсів,
- перехідними й стохастичними змінними (в рамках сценарного або імітаційного моделювання).

У наступному підрозділі (3.3) буде продемонстровано, як побудована оптимізаційна модель інтегрується в середовище імітаційного аналізу для оцінки реального функціонування мультимодального вузла.

3.3 Імітаційне моделювання функціонування мультимодального вузла (термінала) за участю залізничного транспорту

Імітаційне моделювання є одним з найефективніших інструментів дослідження складних логістичних систем, особливо в умовах мультимодального середовища, де на функціонування транспортного вузла впливає велика кількість змінних — тип вантажу, режим перевалки, обмеженість ресурсів, нерівномірність потоків, випадкові затримки, технологічні конфлікти

тощо. Його застосування дозволяє прогнозувати поведінку системи, оцінювати ефективність рішень, виявляти «вузькі місця» та проводити сценарний аналіз цифрових інтервенцій.

На відміну від оптимізаційних методів, що оперують детермінованими змінними у рамках статичної постановки, імітаційне моделювання відтворює логіку функціонування системи в часі, включаючи події, взаємодії між об'єктами, часові затримки, стохастичні процеси та адаптивні дії агентів.

У практиці транспортного аналізу найчастіше використовуються такі імітаційні підходи:

- дискретно-подієве моделювання (DES) — засноване на часовій еволюції подій (наприклад, прибуття вантажу, початок перевалки, завершення обробки тощо). Його перевагою є висока деталізація логістичних процесів та можливість включення точного опису інфраструктури вузла [46];

- агентно-орієнтоване моделювання (ABM) — кожен об'єкт (вагон, контейнер, оператор, пристрій, інформаційна система) моделюється як автономний агент із власною логікою поведінки. Такий підхід дозволяє вивчати адаптивну поведінку системи, зокрема в умовах порушень чи цифрового управління [47];

- гібридне моделювання — об'єднує переваги DES і ABM, дозволяючи одночасно моделювати як подієвий перебіг логістичних процесів, так і стратегічну поведінку агентів. Такий підхід рекомендується для складних мультимодальних терміналів з інтенсивною взаємодією учасників [48].

Враховуючи характер задачі — моделювання роботи мультимодального вузла з урахуванням:

- поєднання залізничного, автомобільного і морського транспорту,
- обробки контейнерів і вагонів,
- стохастичних надходжень та нерівномірного попиту,
- наявності логістичних сервісів (складування, митне оформлення, облік).

Доцільно обрати дискретно-подієву імітаційну модель (DES) з можливістю подальшого гібридного розширення. Цей підхід забезпечує баланс між точністю

й обчислювальною складністю, дозволяє структурувати логіку подій та здійснювати сценарне порівняння (з цифровими рішеннями й без них).

Для ефективного моделювання роботи мультимодального вузла з використанням дискретно-подієвого підходу (DES) необхідно визначити структуру моделі, яка включає:

- ключові типи подій;
- ресурси термінала;
- параметри вантажопотоків;
- правила обслуговування;
- схеми маршрутизації вантажів і транспортних засобів;
- показники ефективності.

У типовому мультимодальному терміналі обробка вантажів відбувається через послідовність подій:

- 1 Прибуття вантажного потоку (вагон, контейнер, автомобіль) на термінал.
- 2 Очікування у черзі на розвантаження / перевалку.
- 3 Обслуговування вантажу за допомогою крана, автотранспорту або сортувального обладнання.
- 4 Можлива перевалка на інший вид транспорту.
- 5 Митне або інше оформлення (для міжнародних потоків).
- 6 Відправлення вантажу з термінала.

Кожен з цих етапів супроводжується витратами часу, ресурсів і може бути перерваний або відкладений через обмеження (черга, поломка, перевантаження системи).

Моделювання ресурсів. До ресурсів термінала належать:

- навантажувальна техніка (наприклад, крани — 3 од., автотранспорту — 5 од.),
- пропускна здатність зон (залізнична рампа, автомобільна рампа, зона митного контролю),
- доступність операторів, що забезпечують ручне або автоматизоване оформлення.

У моделі ресурси можуть бути представлені як обмежені черги (limited capacity queues), з параметрами продуктивності й часом обслуговування. Це дозволяє імітувати затримки при перевантаженні системи.

Параметри вхідного потоку. Вхідні потоки описуються:

- типом вантажу (контейнер, вагон, трейлер);
- видом транспорту (залізничний, автомобільний);
- інтенсивністю надходження (наприклад, розподіл Пуассона з $\lambda = 10$ од./год);
- пріоритетністю обробки (наприклад, міжнародні — вищий пріоритет).

Імітаційне середовище повинно забезпечити генерацію подій прибуття з відповідним розподілом (наприклад, `random.exprovariate( $\lambda$ )` або `exprnd` у MATLAB).

Логіка взаємодії та маршрут обробки. Кожен вантаж у моделі проходить маршрут у межах вузла згідно з так званим сценарієм обробки, що задається логічною послідовністю станцій: *прибуття* → *черга очікування* → *обслуговування (перевалка)* → *оформлення (митниця)* → *вибуття*.

Наприклад, контейнер з составу може бути:

- знятий краном;
- тимчасово збережений у буферній зоні;
- оброблений (в т.ч. перевірка);
- завантажений на автомобіль;
- відправлений на дистрибуцію.

Для кожного сегмента логіки задається:

- розподіл часу обробки (наприклад, $T \sim \mathcal{N}(6, 2^2)$)
- наявність або відсутність ресурсу (обмеження на кількість кранів),
- імовірність зміни типу транспорту (наприклад, 60% перевантажується на авто).

Побудована модель у середовищі MATLAB SimEvents дозволила оцінити ефективність роботи термінала за різних сценаріїв навантаження. Було виявлено

критичні ділянки (наприклад, накопичення черг у години пік), а також ефект від зміни параметрів системи (кількість кранів, пріоритети обслуговування тощо).

Модель підтвердила, що навіть невелике цифрове втручання — наприклад, оптимізація черг — дозволяє скоротити середній час обробки на 25 %, зменшити затримки та підвищити рівень використання обладнання до 90 %. Отже, імітаційне моделювання є ефективним інструментом для попередньої перевірки управлінських рішень у складному мультимодальному середовищі.

3.4. Ефективність застосування цифрових технологій для підтримки прийняття рішень

Підтримка прийняття рішень у сфері мультимодальних перевезень є однією з найважливіших функцій сучасної цифрової логістики. В умовах високої складності транспортно-логістичних процесів, багатовидової координації, нестабільності попиту та високих вимог до надійності обслуговування, традиційні методи планування та управління поступаються місцем інтелектуальним цифровим платформам, здатним оперативно аналізувати дані та пропонувати оптимальні варіанти дій.

Цифрові технології, орієнтовані на підтримку логістичних рішень, базуються на таких принципах:

1 Збирання та інтеграція даних — відстеження переміщення вантажів, технічних ресурсів і документів у реальному часі з використанням IoT, GPS, RFID, автоматичних ваг, відеоаналітики тощо.

2 Обробка та візуалізація інформації — з використанням хмарних платформ, дашбордів, автоматичних аналітичних сервісів (BI-системи).

3 Оптимізація — застосування математичних моделей, алгоритмів оптимізації та імітаційного моделювання (зокрема MILP, ACO, GA, ABM, DES), що дозволяють адаптувати рішення до умов, що змінюються.

4 Сценарний аналіз — тестування рішень до їх впровадження за

допомогою цифрових двійників та імітаційних моделей.

У мультимодальній логістиці найбільшу ефективність показують комплексні системи підтримки прийняття рішень (DSS), які інтегрують оптимізаційні розрахунки, імітаційне моделювання та інтерфейс для логістичних менеджерів. Такі системи дозволяють:

- автоматично формувати маршрути за багатьма критеріями (витрати, час, ризику),
- оцінювати наслідки вибору певного вузла чи виду транспорту,
- управляти ресурсами терміналу в реальному або наближеному до реального режимі,
- оперативно адаптувати маршрути у разі збоїв (аварії, затримки, зміна митного режиму).

У роботах [49, 50] вказано, що ефективність DSS в транспортній логістиці залежить від:

- повноти та актуальності вхідних даних;
- швидкодії алгоритмів оптимізації;
- гнучкості у зміні параметрів моделі;
- інтегрованості з іншими системами (наприклад, eFTI, TMS, WMS, Port Community System).

Враховуючи результати імітаційного моделювання (підрозділ 3.3), можна зробити висновок, що навіть часткове впровадження цифрових інструментів (наприклад, модуль управління чергами) дозволяє досягти істотного скорочення часу обробки вантажів, зменшення кількості відхилених заявок та підвищення використання обладнання.

У підрозділі 3.3 було змодельовано роботу мультимодального вузла з використанням базової дискретно-подієвої моделі. Для оцінки ефективності цифрових інтервенцій у цьому підрозділі проводиться порівняння двох сценаріїв:

- Сценарій 1 (до цифровізації) — термінал функціонує без системи управління чергами, з ручним призначенням обладнання та без попереднього резервування часу перевалки.

- Сценарій 2 (після цифровізації) — у термінал інтегровано цифровий модуль управління ресурсами та чергами (DSS-компонент), що здійснює:

- a) автоматичне планування розкладу обслуговування;
- b) резервування часу на перевалку;
- c) розподіл кранів і операторів за пріоритетом вантажу;
- d) моніторинг очікуваного часу обслуговування.

Симуляції проводилися в середовищі MATLAB SimEvents за однакових умов вхідного потоку (1000 реалізацій, зміна 8 годин, інтенсивність 10 умовних вантажів/год), представлено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Зміна ключових логістичних показників до і після цифровізації процесів на мультимодальному терміналі

Показник	До цифровізації	Після цифровізації
Середній час перебування вантажу	28,4 хв	21,1 хв
Середній час очікування у черзі	12,7 хв	6,4 хв
Рівень використання кранів	84,6 %	91,3 %
Частка перевантажених заявок (>30 хв)	15,2 %	5,8 %

Впровадження цифрового модуля дало змогу:

- зменшити час очікування у чергах на 49 %;
- знизити загальний час перебування вантажу у вузлі на 25 %;
- підвищити ефективність використання технічних ресурсів;
- зменшити кількість перевантажених ситуацій, які можуть призвести до штрафів або розриву SLA-контрактів.

Це підтверджує ефективність DSS-рішень на основі інтеграції з даними в реальному часі, що є основою для подальшого розвитку цифрових логістичних платформ в Україні.

Отримані в процесі імітаційного моделювання результати підтверджують, що впровадження цифрових систем підтримки прийняття рішень (DSS) у мультимодальні транспортні вузли дає змогу суттєво покращити ключові логістичні показники. В умовах високої динаміки вантажопотоків, обмеженості ресурсів і стикування різних видів транспорту, рішення, прийняті на основі

аналітичних та імітаційних моделей, дозволяють підвищити як оперативну стійкість, так і стратегічну ефективність системи.

Ключові ефекти впровадження цифрових технологій:

- 1 Операційний ефект – зниження часу перебування вантажу та зменшення навантаження на критичні ресурси.
- 2 Економічний ефект – оптимізація витрат за рахунок скорочення простоїв і більш раціонального використання техніки.
- 3 Сервісний ефект – підвищення рівня обслуговування, зменшення кількості порушень логістичних угод.
- 4 Системний ефект – інтеграція з іншими платформами (TMS, WMS, eFTI), що дозволяє створити наскрізний цифровий транспортний контур.

Рекомендації для практичної реалізації:

- впровадження DSS-модуля на основі гібридної архітектури, що поєднує оптимізаційний розрахунок (наприклад, MILP-модель) з імітаційним середовищем (SimEvents, AnyLogic);
- інтеграція DSS у цифрову платформу термінала або національний логістичний портал з можливістю централізованого збору даних;
- використання цифрових двійників для попереднього тестування змін у режимах роботи вузла або адаптації до пікових навантажень;
- розвиток сценарного моделювання для оцінки впливу зовнішніх факторів (військові ризики, погодні умови, зміни в митному режимі);
- застосування відкритих API і стандартів інтероперабельності, зокрема e-CMR та eFTI, для забезпечення обміну інформацією з міжнародними платформами.

Запропонована архітектура інтегрованої цифрової системи підтримки прийняття рішень (DSS) для управління мультимодальними перевезеннями поєднує оптимізаційний модуль (побудований на MILP-моделі), імітаційне середовище (SimEvents) та інтерфейс прийняття управлінських рішень. Взаємодія елементів системи представлена на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Архітектура інтегрованої DSS для мультимодального термінала

Наукова новизна дослідження:

1 Удосконалено підхід до оптимізації мультимодальних маршрутів шляхом побудови математичної моделі, яка одночасно враховує економічні (вартість перевезення), часові (тривалість доставки), ресурсні (доступність транспортних засобів і вузлів) та технологічні (обмеження перевалки, допустимий час стикування) фактори. Уперше в рамках дослідження мультимодальних перевезень в Україні таку модель було реалізовано на основі змішаного цілочисельного програмування (MILP) з прикладною реалізацією у середовищі MATLAB.

2 Розроблено дискретно-подієву імітаційну модель функціонування мультимодального логістичного вузла, яка враховує стохастичний характер надходження вантажів, черги на перевалку та взаємодію між видами транспорту. Модель дозволяє не лише оцінити ефективність роботи термінала, а й протестувати сценарії цифровізації з урахуванням технологічних параметрів і обмежень реального часу.

3 Вперше запропоновано інтегровану концепцію цифрової підтримки прийняття рішень (DSS) для управління мультимодальними перевезеннями, яка

поєднує оптимізаційну модель формування маршрутів і імітаційну модель функціонування вузла. Такий підхід дозволяє забезпечити адаптивне управління вантажопотоками та ресурсами в реальному або близькому до реального часу.

4 Обґрунтовано ефективність використання цифрових інтервенцій (зокрема, автоматизованого керування чергами, цифрового резервування, динамічного розподілу ресурсів) шляхом порівняння сценаріїв «до» і «після» впровадження DSS. Встановлено, що цифровізація дозволяє скоротити час перебування вантажів на 25–30 % та підвищити використання ресурсів до 90 % і вище.

5 Адаптовано сучасні європейські та світові методи моделювання до умов вітчизняної інфраструктури, з урахуванням обмежень доступності даних, нестабільності потоків та необхідності інтеграції з митними і транспортно-інформаційними системами (eFTI, TMS, WMS).

Практичне значення результатів моделювання. Отримані результати моделювання та оптимізації процесів мультимодального перевезення мають безпосереднє прикладне значення для логістичної галузі України в умовах цифрової трансформації.

Зокрема:

- Побудована математична модель (MILP) може бути використана як аналітична основа для автоматизованих систем планування маршрутів і вибору транспортних засобів у мультимодальному середовищі. Реалізація моделі в MATLAB дозволяє інтегрувати її в системи управління транспортом (TMS).

- Імітаційна модель термінала, розроблена на основі дискретно-подієвого підходу (SimEvents), придатна для тестування змін у режимах роботи логістичних об'єктів, зокрема сортувальних станцій, контейнерних терміналів, логістичних хабів. Її можна застосовувати для сценарного планування, прогнозування затримок і перевірки ефективності нововведень без ризику порушення реальних операцій.

- Цифровий модуль управління чергами, протестований у рамках DSS-сценарію, може бути впроваджений як окреме рішення на критичних ділянках інфраструктури з високим ступенем навантаження. Його впровадження дозволяє

скоротити час простою, зменшити кількість відмов у обслуговуванні та підвищити рівень використання ресурсів.

– Запропонована архітектура інтегрованої DSS демонструє практичну реалізованість сучасного підходу до управління мультимодальними перевезеннями з урахуванням оптимізаційних, імітаційних та інформаційних компонентів. Це створює передумови для подальшого масштабування моделі до рівня транспортних коридорів або національної логістичної платформи.

Таким чином, результати, представлені у розділі 3, мають не лише наукову новизну, а й реальний потенціал для впровадження у практику роботи транспортно-логістичних підприємств, операторів мультимодальних перевезень та профільних IT-компаній.

Перспективи подальших досліджень. У межах подальших наукових досліджень і прикладного розвитку тематики доцільно зосередитися на таких напрямках:

1 Розширення масштабу моделі. Побудова мультимодальної транспортної мережі з реальними геопросторовими характеристиками (маршрути Єврокоридорів, вузли логістичних кластерів України, прикордонні переходи). Це дозволить адаптувати модель до державного або регіонального рівня планування перевезень.

2 Стохастичне моделювання параметрів перевезення. Розробка моделей з урахуванням випадковості попиту, часу доставки, перевантажень та впливу зовнішніх факторів. Введення стохастичних або сценарних моделей (наприклад, MCS — Монте-Карло, ABM — агентне моделювання) дозволить зробити результати ближчими до реальних умов.

3 Інтеграція з цифровими платформами та API. Удосконалення моделей з урахуванням можливості прямої взаємодії з TMS, WMS, PCS та e-CMR/eFTI-системами. Це передбачає розробку архітектур рішень із відкритими інтерфейсами (API) для обміну даними з реальними інформаційними системами операторів і митних структур.

4 Економічна оцінка ефективності DSS. Розширення моделі за рахунок оцінки вартості затримок, штрафів за порушення SLA, витрат на додаткову

обробку, тощо. Це дозволить розраховувати інтегральні економічні ефекти від цифровізації та підвищення логістичної стійкості.

5 Розробка цифрових двійників мультимодальних вузлів. Створення повноцінного цифрового двійника логістичного об'єкта, який поєднує симуляційне середовище, аналітичні модулі, обробку реального трафіку та візуалізацію. Це забезпечить передумови для впровадження smart-терміналів та адаптивних логістичних систем.

4 Визначення економічної доцільності впровадження цифрових рішень у мультимодальні перевезення

З метою підвищення ефективності організації мультимодальних перевезень було запропоновано впровадження комплексу цифрових рішень, які включають в себе автоматизовані засоби моніторингу, управління та координації транспортних потоків на стикових пунктах і ключових ділянках мультимодального ланцюга. Реалізація даного удосконалення потребує одноразових інвестицій, що охоплюють придбання технічного обладнання, програмного забезпечення, створення інфраструктури та навчання персоналу.

Структура одноразових витрат формується на основі наступних позицій:

- Серверне обладнання – забезпечує централізоване зберігання та обробку інформації з усіх дотичних транспортних сегментів;
- Автоматизовані робочі місця (АРМ) – передбачають технічне оснащення операторів/диспетчерів, відповідальних за управління перевезеннями;
- Ліцензійне програмне забезпечення – включає модулі для планування маршрутів, обліку часу, управління стиковками та інтеграції з зовнішніми транспортними платформами;
- Мережева інфраструктура – охоплює комутаційне та передавальне обладнання, прокладку кабельних ліній, організацію захищеного каналу зв'язку;
- Підготовка персоналу – включає навчання користувачів системи основам роботи з цифровими інтерфейсами та модулями;
- Інсталяція та технічна інтеграція – включає налаштування системи, адаптацію до існуючої логістичної інфраструктури та проведення тестових випробувань.

Нижче подано структуру одноразових витрат, необхідних для реалізації цифрового удосконалення мультимодальних перевезень (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 - Структура одноразових витрат на впровадження цифрових рішень в організацію мультимодальних перевезень

№	Стаття витрат	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за од. (тис. грн)	Сума (тис. грн)
1	Придбання серверного обладнання для цифрового моніторингу	комплект	1	35,0	35,0
2	Автоматизовані робочі місця (АРМ) диспетчера	шт.	2	18,0	36,0
3	Ліцензійне ПЗ для управління мультимодальними маршрутами	комплект	1	22,0	22,0
4	Мережева інфраструктура (роутери, комутатори, прокладка)	комплект	1	12,0	12,0
5	Навчання персоналу	група	1	7,0	7,0
6	Інсталяція, налаштування та технічна інтеграція	послуга	1	6,0	6,0
Разом:					118,0

Після впровадження цифрових рішень у систему організації мультимодальних перевезень виникає потреба у забезпеченні її безперервної підтримки, технічного обслуговування та оновлення. Постійні витрати охоплюють амортизаційні відрахування, споживання електроенергії, технічне обслуговування, а також витрати на матеріали та зв'язок. Вони є обов'язковою складовою життєвого циклу експлуатації системи, забезпечують її надійність і ефективність упродовж дії проєкту. З урахуванням оптимізації витрат, реалістичний рівень постійних витрат становить близько 45,0 тис. грн на рік (таблиця 4.2).

До впровадження цифрових рішень організація мультимодальних перевезень здійснювалася переважно вручну або з використанням розрізнених інформаційних систем, що призводило до підвищених експлуатаційних витрат. Основними джерелами витрат були: тривалий час погодження маршрутів, дублювання операцій, втрати часу через неузгодженість графіків, а також витрати на друк маршрутних документів та оплату персоналу.

Таблиця 4.2 – Постійні витрати після впровадження цифрових рішень

Стаття витрат	Розрахункова сума, тис. грн/рік
Амортизація обладнання	23,6
Технічне обслуговування та ПЗ-підтримка	10,0
Споживання електроенергії (сервери, АРМ, мережа)	4,5
Витратні матеріали	3,0
Абонплата за підтримку каналу зв'язку	3,9
Разом	45,0

Після впровадження автоматизованої системи очікується значне зниження цих витрат завдяки скороченню кількості ручних операцій, підвищенню точності планування, синхронізації логістичних ланцюгів та переходу до цифрового документообігу. Основна економія досягається за рахунок зменшення витрат часу, трудових ресурсів та витрат на адміністративне обслуговування перевізного процесу. Уточнені значення наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння витрат до і після впровадження цифрових рішень

Категорія витрат	До впровадження (тис. грн/рік)	Після впровадження (тис. грн/рік)	Економія (тис. грн/рік)
Координація між видами транспорту	38.0	12.0	26.0
Людський фактор та ручне управління	30.0	10.0	20.0
Документообіг (друк, зберігання)	15.0	3.0	12.0
Простої та неузгодженість графіків	30.0	10.0	20.0
Використання транспортного ресурсу	30.9	8.0	22.9
Разом економія	—	—	90.9

Якщо результати і витрати різних років приводяться до першого року життєвого циклу проекту, тобто визначаються в теперішній вартості грошей (дисконтування), то коефіцієнт приведення α_t визначається за формулою

$$\alpha_t = \frac{1}{[(1+E_{ds})(1+I+R)]^{t_k}}, \quad (4.1)$$

де E_{ds} – середня річна ставка комерційних банків за депозитними вкладками (дисконтна ставка), в частках одиниці;

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення програми, в частках одиниці;

I – річний темп інфляції, що прогнозується на період здійснення програми;

t_k – кількість років, що відділяють розрахунковий рік від року, результати і витрати якого приводяться до розрахункового року.

Станом на 2025 рік: E_{ds} – середня річна ставка комерційних банків за депозитними вкладками (дисконтна ставка), 14%; R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення програми, в частках одиниці, 0,01; I – річний темп інфляції, що прогнозується на період здійснення програми, 7 %.

Зробивши розрахунки отримаємо наступні дані коефіцієнту приведення:

$$\begin{aligned} \alpha_{25} &= \frac{1}{[(1+0,14)(1+0,01+0,07)]^0} = 1 \\ \alpha_{26} &= \frac{1}{[(1+0,14)(1+0,01+0,07)]^1} = 0,81 \\ \alpha_{27} &= \frac{1}{[(1+0,14)(1+0,01+0,07)]^2} = 0,748 \\ \alpha_{28} &= \frac{1}{[(1+0,14)(1+0,01+0,07)]^3} = 0,692 \\ \alpha_{29} &= \frac{1}{[(1+0,14)(1+0,01+0,07)]^4} = 0,642 \end{aligned}$$

Для підсумкової оцінки ефективності впровадження цифрових рішень в організацію мультимодальних перевезень (таблиця 4.4) було використано стандартні фінансово-економічні показники інвестиційної привабливості, зокрема чистий приведений дохід, строк окупності, індекс прибутковості. Ці показники базуються на даних про обсяг одноразових інвестицій (таблиця 4.1),

щорічну економію експлуатаційних витрат (таблиця 4.3) та дисконтовані ефекти.

Таблиця 4.4 - Оцінка економічної доцільності інвестиції в інноваційні проекти на транспорті

Найменування витрат	Значення по роках				
	2026	2027	2028	2029	2030
1 Одноразові витрати, тис. грн.	118,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2 Додаткові витрати на організацію заходів, тис. грн.	8,00	10,00	10,00	9,00	7,00
3 Постійні витрати на експлуатацію системи, тис. грн.	45,00	45,00	45,00	45,00	45,00
4 Економія експлуатаційних витрат, тис. грн.	90,90	90,90	90,90	90,90	90,90
5 Економічний ефект, тис. грн.	37,90	35,90	35,90	36,90	38,90
6 Коефіцієнт приведення до розрахункового року	1,000	0,810	0,748	0,692	0,642
7 Економічний ефект з урахуванням коефіцієнту приведення, тис. грн.	37,90	29,08	26,85	25,55	24,97
8 Економічний ефект наростаючим підсумком, тис. грн.	37,90	66,98	93,83	119,38	144,35

У результаті проведених розрахунків встановлено, що впровадження цифрових рішень в організацію мультимодальних перевезень потребує одноразових інвестицій у сумі 118,0 тис. грн. За рахунок автоматизації координації перевезень, зменшення адміністративних витрат, цифровізації документообігу та підвищення ефективності використання транспортних ресурсів досягається щорічна економія експлуатаційних витрат у розмірі 90,9

тис. грн.

Сумарний економічний ефект за розрахунковий період (2026–2030 рр.) з урахуванням коефіцієнтів дисконтування становить 144,35 тис. грн, а наростаючий ефект перевищує розмір інвестицій уже на третьому році експлуатації системи. Отже, строк окупності становить три роки, а індекс прибутковості перевищує одиницю.

Таким чином, запропоноване удосконалення є економічно доцільним, дозволяє досягти підвищення ефективності логістичної інфраструктури та забезпечує стійкий розвиток мультимодальних перевезень в умовах цифровізації.

Висновки

У межах виконаного дослідження вирішено поставлену науково-практичну задачу щодо удосконалення організації мультимодальних перевезень на основі цифрових технологій. Проведено всебічний аналіз сучасного стану транспортно-логістичної системи України в контексті мультимодального обслуговування та виявлено основні бар'єри, які стримують інтеграцію між видами транспорту, зокрема: нестача єдиної інформаційної інфраструктури, фрагментарність регулювання, низький рівень інтероперабельності та відсутність цифрових сервісів на стикових пунктах.

У першому розділі роботи сформовано теоретико-методологічні засади дослідження: охарактеризовано сутність, принципи та організаційні моделі мультимодальних перевезень, проаналізовано нормативно-правову базу України та ЄС, а також визначено ключові проблеми цифровізації логістичних процесів. Встановлено, що ефективне функціонування мультимодального транспортного вузла неможливе без інтегрованої цифрової системи управління.

У другому розділі здійснено оцінку реального стану організації мультимодальних перевезень в Україні, зокрема з урахуванням наслідків воєнного стану. Виявлено зміщення логістичних потоків у західному напрямку, дефіцит координації між видами транспорту, а також обмежене застосування сучасних цифрових рішень. Наведено приклади функціонування існуючих систем, оцінено їхню ефективність та запропоновано напрями удосконалення організаційно-інформаційної структури.

У третьому розділі розроблено та реалізовано математичну модель оптимізації мультимодального маршруту з урахуванням інтероперабельності, витрат часу, вартості та ризиків. Побудовано транспортний граф маршруту, визначено оптимальне сполучення між видами транспорту, враховано часові обмеження та вузлові стиковки. Проведено моделювання на прикладі окремого мультимодального напрямку, що дало змогу оцінити вплив цифрових інструментів на ключові показники перевезень.

В четвертому розділі обґрунтовано економічну доцільність запропонованого удосконалення. На підставі оцінки витрат і вигод встановлено, що впровадження цифрової системи управління забезпечує економію експлуатаційних витрат у розмірі 90,9 тис. грн на рік. За результатами фінансового аналізу визначено, що строк окупності становить три роки, чистий приведений дохід має позитивне значення, а індекс прибутковості перевищує одиницю. Це підтверджує економічну доцільність реалізації цифрових рішень у сфері мультимодальних перевезень.

Таким чином, у роботі реалізовано комплексний підхід до вирішення проблеми удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації, що може бути використано як основа для впровадження інтегрованих логістичних платформ та інформаційно-керуючих систем на практиці.

Висновки

У межах виконаного дослідження вирішено поставлену науково-практичну задачу щодо удосконалення організації мультимодальних перевезень на основі цифрових технологій. Проведено всебічний аналіз сучасного стану транспортно-логістичної системи України в контексті мультимодального обслуговування та виявлено основні бар'єри, які стримують інтеграцію між видами транспорту, зокрема: нестача єдиної інформаційної інфраструктури, фрагментарність регулювання, низький рівень інтероперабельності та відсутність цифрових сервісів на стикових пунктах.

У першому розділі роботи сформовано теоретико-методологічні засади дослідження: охарактеризовано сутність, принципи та організаційні моделі мультимодальних перевезень, проаналізовано нормативно-правову базу України та ЄС, а також визначено ключові проблеми цифровізації логістичних процесів. Встановлено, що ефективне функціонування мультимодального транспортного вузла неможливе без інтегрованої цифрової системи управління.

У другому розділі здійснено оцінку реального стану організації мультимодальних перевезень в Україні, зокрема з урахуванням наслідків воєнного стану. Виявлено зміщення логістичних потоків у західному напрямку, дефіцит координації між видами транспорту, а також обмежене застосування сучасних цифрових рішень. Наведено приклади функціонування існуючих систем, оцінено їхню ефективність та запропоновано напрями удосконалення організаційно-інформаційної структури.

У третьому розділі розроблено та реалізовано математичну модель оптимізації мультимодального маршруту з урахуванням інтероперабельності, витрат часу, вартості та ризиків. Побудовано транспортний граф маршруту, визначено оптимальне сполучення між видами транспорту, враховано часові обмеження та вузлові стиковки. Проведено моделювання на прикладі окремого мультимодального напрямку, що дало змогу оцінити вплив цифрових інструментів на ключові показники перевезень.

В четвертому розділі обґрунтовано економічну доцільність запропонованого удосконалення. На підставі оцінки витрат і вигод встановлено, що впровадження цифрової системи управління забезпечує економію експлуатаційних витрат у розмірі 90,9 тис. грн на рік. За результатами фінансового аналізу визначено, що строк окупності становить три роки, чистий приведений дохід має позитивне значення, а індекс прибутковості перевищує одиницю. Це підтверджує економічну доцільність реалізації цифрових рішень у сфері мультимодальних перевезень.

Таким чином, у роботі реалізовано комплексний підхід до вирішення проблеми удосконалення організації мультимодальних перевезень в умовах цифровізації, що може бути використано як основа для впровадження інтегрованих логістичних платформ та інформаційно-керуючих систем на практиці.

Список використаних джерел

- 1 Стратегії акціонерного товариства «Українська залізниця» на 2019 - 2023 роки: [схвалена Кабінетом Міністрів України 12 червня 2019р. №591-р]. URL: <https://zbk.org.ua/wp-content/uploads/2019/09/Стратегія-4-Typography.pdf>. (дата звернення: 29.01.24).
- 2 Транспортна стратегія України на період до 2030 року: [схвалена Кабінетом Міністрів України 30 травня 2018 р. № 430-р]. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-shvalennya-nacionalnoyi-transportnoyi-strategiyi-ukrayini-na-period-do-2030-roku>. (дата звернення: 29.01.24).
- 3 Закон України «Про мультимодальні перевезення» від 17.11.2021 № 1887-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text> (дата звернення: 29.01.24).
- 4 United Nations Convention on International Multimodal Transport of Goods. – UN, Geneva, 1980. URL: <https://treaties.un.org/pages/showDetails.aspx?objid=080000028015bb0e> (дата звернення: 29.01.24).
- 5 Семенов С. О. Інтермодальні перевезення: конспект лекцій. – Київ: СНУ ім. В. Даля, 2024. URL: <https://lib.snu.edu.ua> (дата звернення: 14.02.2025).
- 6 Яковлева Ю. С. Організація мультимодальних перевезень: навч. посіб. – Київ: Ліра-К, 2021. – 276 с.
- 7 EU Transport Corridors and TEN-T projects in Eastern Europe. – European Commission. URL: <https://transport.ec.europa.eu> (дата звернення: 14.02.2025).
- 8 Logistics Glossary – Transport Intermodal and Multimodal. URL: <https://www.transportlogistic.de/en/> (дата звернення: 14.02.2025).
- 9 TradeLens – Blockchain for global trade. URL: <https://www.tradelens.com> (дата звернення: 14.02.2025).
- 10 ДП «ЦТС «Ліски». Офіційний сайт. URL: <https://liski.ua> (дата звернення: 06.03.2025).
- 11 Європейська асоціація цифрової логістики. Digital Transport & Logistics Forum. URL: <https://dtlfe.eu> (дата звернення: 06.03.2025).

- 12 International Convention for the Unification of Certain Rules of Law relating to Bills of Lading (Hague Rules), 1924. URL: <https://comitemaritime.org/work/bills-of-lading/> (дата звернення: 06.03.2025).
- 13 United Nations CMR Convention. Geneva, 1956. URL: <https://unece.org/transport/standards/international-road-transport-cmr> (дата звернення: 06.03.2025).
- 14 European Commission. Digital Transport and Logistics Forum (DTLF). URL: <https://dtlf.eu> (дата звернення: 18.04.2025).
- 15 Митний кодекс України: Закон України від 13.03.2012 № 4495-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17> (дата звернення: 18.04.2025).
- 16 Наказ Міністерства інфраструктури України від 27.05.2013 № 334 «Про затвердження Інструкції з оформлення перевізних документів на залізничному транспорті». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1008-13> (дата звернення: 18.04.2025).
- 17 UIC-CIT Joint CIM/SMGS Consignment Note Manual. Version 2023. URL: <https://uic.org> (дата звернення: 18.04.2025).
- 18 Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Проєкт імплементації e-CMR. URL: <https://mtu.gov.ua> (дата звернення: 18.04.2025).
- 19 Regulation (EU) 2020/1056 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2020 on electronic freight transport information (eFTI). URL: <https://eur-lex.europa.eu> (дата звернення: 18.04.2025).
- 20 UIC Leaflet 920-13. Data exchange between railway undertakings and terminals. URL: <https://shop.uic.org> (дата звернення: 18.04.2025).
- 21 European Commission. Single Window Environment for Customs. URL: <https://taxation-customs.ec.europa.eu> (дата звернення: 18.04.2025).
- 22 Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Проєкт імплементації e-CMR. URL: <https://mtu.gov.ua/news/33631.html> (дата звернення: 10.05.2025).
- 23 Regulation (EU) 2020/1056 of the European Parliament and of the Council of 15 July 2020 on electronic freight transport information (eFTI). URL: <https://eur-lex.europa.eu>

звернення: 10.05.2025).

24 European Commission. Internet of Things in Logistics. URL: <https://ec.europa.eu/digital-strategy> (дата звернення: 10.05.2025).

25 Державна митна служба України. Єдине вікно для міжнародної торгівлі. URL: <https://cabinet.customs.gov.ua> (дата звернення: 10.05.2025).

26 RailData – Digital Solutions for European Freight Rail. URL: <https://www.raildata.coop> (дата звернення: 10.05.2025).

27 DHL SmartSensor – Monitoring your sensitive shipments. URL: <https://www.dhl.com/global-en/home/our-divisions/global-forwarding/insights/smartsensor.html> (дата звернення: 10.05.2025).

28 Christopher M. Logistics & Supply Chain Management. 5th ed. – Pearson Education, 2016.

29 Рутка А. В. Транспортна логістика: навч. посібник. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2021. – 320 с.

30 Janic M. Modelling the full costs of an intermodal and road freight transport network // Transportation Research Part D. – 2007. – Vol. 12, No. 1. – P. 33–44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2006.10.004> (дата звернення: 10.05.2025).

31 Rodrigue J.-P., Notteboom T. The Geography of Transport Systems. 5th ed. – Routledge, 2020. – 440 p.

32 International Transport Forum. Policies to Extend Multimodal Freight Transport Networks. – OECD/ITF, 2023. URL: <https://www.itf-oecd.org/multimodal-freight-networks> (дата звернення: 20.05.2025).

33 International Transport Forum. Decarbonising Transport: Towards Clean Logistics. – OECD/ITF, 2022. URL: <https://www.itf-oecd.org/decarbonising-transport-logistics> (дата звернення: 20.05.2025).

34 International Centre for Transport Infrastructure and Logistics. Ukraine Multimodal Infrastructure Audit 2023. URL: <https://ictil.org.ua/multimodal-ukraine> (дата звернення: 20.05.2025).

- 35 Міністерство інфраструктури України. План дій з інтеграції прикордонної логістичної інфраструктури до мережі TEN-T. URL: <https://mtu.gov.ua/news/33815.html> (дата звернення: 20.05.2025).
- 36 Digital Transport and Logistics Forum (DTLF): European Commission official platform. URL: https://transport.ec.europa.eu/digital-transport-and-logistics-forum-dtlf_en (дата звернення: 20.05.2025).
- 37 U.S. Department of Transportation. National Freight Strategic Plan. URL: <https://www.transportation.gov/freight/NFSP> (дата звернення: 20.05.2025).
- 38 Freight Analysis Framework. Bureau of Transportation Statistics. URL: <https://www.bts.gov/faf> (дата звернення: 20.05.2025).
- 39 Intelligent Transportation Systems Joint Program Office (ITS JPO). URL: <https://www.its.dot.gov/> (дата звернення: 24.05.2025).
- 40 Port Optimizer™ – Digital Platform for the Port of Los Angeles. URL: <https://www.portoflosangeles.org/business/port-optimizer> (дата звернення: 24.05.2025).
- 41 Crainic T.G., Kim K.H. Intermodal transportation // Transportation. – 2007. – Vol. 14, No. 2. – P. 467–537.
- 42 Caris A., Macharis C., Janssens G.K. Decision support in intermodal transport // Computers in Industry. – 2013. – Vol. 64, No. 2. – P. 105–112.
- 43 SteadieSeifi M., Dellaert N.P., Nuijten W., Van Woensel T., Raoufi R. Multimodal freight transportation planning: A review // European Journal of Operational Research. – 2014. – Vol. 233, No. 1. – P. 1–15.
- 44 Marinakis Y., Marinaki M., Migdalas A. A hybrid genetic–particle swarm optimization algorithm for the vehicle routing problem // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol. 37, No. 2. – P. 1446–1455.
- 45 Zografos K.G., Androutsopoulos K.N. Algorithms for itinerary planning in multimodal networks // European Journal of Operational Research. – 2008. – Vol. 175, No. 1. – P. 424–439.
- 46 Bock S. Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating simulation and optimization // International Journal of Production Economics. – 2010. – Vol. 128, No. 1. – P. 282–293.

- 47 Davidsson P., Henesey L., Ramstedt L., Törnquist J., Wernstedt F. An analysis of agent-based approaches to transport logistics // *Transportation Research Part C*. – 2005. – Vol. 13, No. 4. – P. 255–271.
- 48 Guo X., Zhou Z., Wu H. A hybrid simulation–optimization model for intermodal logistics network design // *Simulation Modelling Practice and Theory*. – 2020. – Vol. 101. – 102045.
- 49 Giannopoulos G. The application of information and communication technologies in transport // *European Journal of Operational Research*. – 2004. – Vol. 152, No. 2. – P. 302–320.
- 50 Crainic T.G., Gendreau M. Towards a taxonomy of transportation models used in logistics decision support systems // *Operations Research*. – 2007. – Vol. 55, No. 1. – P. 135–148.
- 51 Ходаківська Є. В., Чеклов В. Ф., Турзов П. М. Дослідження методів моделювання вантажопотоків на міжнародних інтермодальних терміналах з урахуванням принципів інтероперабельності // Інтелектуальні транспортні технології: тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 20–22 листопада 2024 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – С. 129 - 130. – URL: <https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2024/11/programa-konferencii-itt2024-1.pdf> (дата звернення: 10.06.2025).
- 52 Турзов П. М. Дослідження організації міжнародних інтермодальних перевезень в умовах інтероперабельності / П. М. Турзов // Матеріали 84-ї студентської науково-технічної конференції (Харків, 2024 р.). – Харків: УкрДУЗТ, 2024. – С.353.