

*Горбань А.В., Кучерук Г.Ю.*

## КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛОГІСТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

*У статті розглянуто сучасний стан розвитку мультимодальних перевезень, які є основою міжнародної торгівлі та важливим інструментом для забезпечення ефективності, стійкості й екологічності логістики. Описано стратегічне значення мультимодальних перевезень для України, враховуючи її географічне положення та потенціал стати ключовим транзитним вузлом між Китаєм і ЄС.*

*Автори акцентують увагу на необхідності підвищення логістичної стійкості мультимодальних перевезень шляхом диверсифікації маршрутів, розвитку інфраструктури, впровадження цифрових технологій, екологічних підходів та адаптації до глобальних викликів, таких як пандемія COVID-19, війна та посилення екологічних вимог.*

*У статті також запропоновано комплексний підхід до забезпечення логістичної стійкості, що включає розвиток сучасної інфраструктури, інтеграцію цифрових рішень (IoT, блокчейн, автоматизація) і дотримання екологічних стандартів. Наголошено на важливості міжнародної співпраці, інвестицій у транспортні хаби та інтеграції України до міжнародних транспортних коридорів. Запропоновані рекомендації спрямовані на створення інноваційної, ефективної та екологічно відповідальної транспортної системи, що відповідає викликам сучасного світу та сприяє економічному розвитку країни.*

**Ключові слова:** мультимодальні перевезення, логістична стійкість, інфраструктура, цифровізація, екологічність, транспортні хаби, диверсифікація маршрутів, міжнародна співпраця, оптимізація логістики, транспортні коридори

**Постановка проблеми.** Мультимодальні перевезення сьогодні стають основою міжнародної торгівлі, оскільки поєднують різні види транспорту і дозволяють оптимізувати маршрути та прискорити доставку вантажів, особливо для міжнародних поставок. Мультимодальні перевезення є не лише відповіддю на сучасні логістичні виклики, а й інструментом підвищення ефективності, стійкості та екологічності глобальної та регіональної транспортної системи. Для України ця тема має стратегічне значення, враховуючи її географічне положення та потенціал стати ключовим транзитним вузлом у Європі.

В Україні розвиток мультимодальних перевезень залишається на початковому етапі. Частка контейнерних перевезень у країні є вкрай низькою: у загальному залізничному потоці вона становить лише близько 2%, тоді як у розвинених країнах цей показник перевищує 45% [1]. Водночас на українському ринку вже працюють великі міжнародні мультимодальні перевізники, такі як Maersk Line, DHL Global Forwarding, DB Schenker, Rail Cargo Logistics (ÖBB). Зручне географічне розташування України на шляху між Китаєм і ЄС надає значний логістичний потенціал, адже обсяги перевалки вантажів між цими регіонами щороку зростають. Однак, Україна на зараз використовує лише 25–30% свого транзитного потенціалу. Логістична стійкість мультимодальних перевезень є важливим фактором для підтримки економічної стабільності, зменшення екологічного впливу та забезпечення ефективності ланцюгів постачання. В умовах глобальних викликів і регіональних особливостей ця тема має ключове значення для сталого розвитку транспортної галузі та економіки загалом

Питанням підвищення стійкості та ефективності мультимодальних перевезень в Україні присвячені праці вітчизняних та іноземних авторів: : О. О. Карпенко, О. Є. Бабина, Р. В. Вернигора, А. М. Окорочков, П. С. Цупров, Я. Панг, Ш. Пан, Е. Балло, М. Уддін, Н Хюїн Чжао, Донг, Адріана-Сімона Міхайта, Юмін Оу. Хатценбюлер, Йонас, Ерік Снеліус, Дьозьо Гідофалві, Одет Кац [2-7].

Вони вивчали окремі напрямки розвитку мультимодальних перевезень, проте потрібен комплексний підхід, який дозволяє врахувати всі фактори, забезпечення логістичної стійкості, знижуючи ризики та підвищуючи ефективність мультимодальних перевезень на всіх етапах.

**Виклад основного матеріалу.** Рівень розвитку мультимодальних перевезень впливає на глобальну і національну економіку країни, безпеку та сталий розвиток. Завдяки координації перевезень між різними видами транспорту можна скоротити витрати на зберігання, обробку вантажів і зменшити холостий пробіг транспортних засобів. Країни з розвиненими мультимодальними перевезеннями мають конкурентні переваги в залученні іноземних інвесторів та забезпеченні ефективної логістики для бізнесу. Тому, для стабільного функціонування транспортної системи, бізнесу та економіки в цілому потрібно використовувати інструменти логістичної стійкості мультимодальних перевезень.

Логістична стійкість мультимодальних перевезень — це здатність транспортних систем забезпечувати стабільність і ефективність перевезень у разі зовнішніх і внутрішніх викликів. Вона охоплює стратегії збереження функціональності транспортних ланцюгів у несприятливих умовах, таких як природні катаклізми, техногенні аварії, військові дії чи економічні кризи.

Необхідність комплексного підходу забезпечення логістичної стійкості у мультимодальних перевезеннях посилюється впливом глобальних криз, підвищенням екологічних вимог та зростанням ролі диджиталізації. Пандемія COVID-19 порушила глобальні ланцюги постачання, показавши важливість гнучких і стійких мультимодальних систем. Військові дії в Україні порушили транспортні коридори, змусивши шукати альтернативи, наприклад, розвивати експорт зерна через порти сусідніх країн. Європейський Зелений курс (*Green Deal*) стимулює країни скорочувати викиди CO<sub>2</sub> у транспортному секторі. Інтеграція сучасних технологій, таких як IoT, блокчейн і автоматизація, дозволяє підвищити прозорість і ефективність мультимодальних перевезень. Сучасні напрями та інструменти комплексного забезпечення логістичної стійкості мультимодальних перевезень наведені у табл. 1

Таблиця 1. Основні напрями комплексного підходу забезпечення логістичної стійкості мультимодальних перевезень

Напрямок	Інструменти забезпечення
Диверсифікація маршрутів і видів транспорту	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Використання альтернативних транспортних коридорів.</li> <li>✓ Поєднання залізничного, автомобільного, водного та повітряного транспорту.</li> </ul>
Розвиток інфраструктури	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Модернізація мультимодальних хабів, терміналів і складських площ.</li> <li>✓ Забезпечення стійкості інфраструктури до екстремальних погодних умов і техногенних ризиків.</li> </ul>
Впровадження цифрових технологій	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Використання систем управління перевезеннями для оперативного моніторингу вантажів.</li> <li>✓ Застосування блокчейн-технологій для прозорості та надійності логістичних ланцюгів.</li> </ul>
Планування та управління ризиками	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Аналіз потенційних загроз і розробка планів реагування на кризи.</li> <li>✓ Резервування ресурсів (суден, транспортних засобів, технічного обслуговування).</li> </ul>
Екологічна стійкість	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Перевага екологічно чистих видів транспорту.</li> <li>✓ Скорочення викидів шляхом оптимізації маршрутів і використання сучасного обладнання.</li> </ul>
Міжнародна співпраця	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Інтеграція до Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T).</li> <li>✓ Участь у міжнародних ініціативах зі сталого розвитку транспорту.</li> </ul>

Кожен з цих аспектів робить внесок у підвищення ефективності, стійкості та конкурентоспроможності мультимодальних перевезень. Однак особлива необхідна до диверсифікації, стану інфраструктури, диджиталізації та екологічності дозволяє адаптуватися до сучасних викликів і залучити міжнародних партнерів. Розглянемо їх докладніше.

*Диверсифікація маршрутів.* Залежність від одного маршруту чи виду транспорту робить логістичну систему вразливою до збоїв, таких як природні катаклізми, війна чи економічні кризи. Наприклад, блокада портів України під час війни змусила перевізників шукати альтернативи через залізницю та автомобільні коридори. Диверсифікація маршрутів - це адаптивність до непередбачуваних ситуацій, оскільки вона дає змогу оперативного перенаправляти вантажі, якщо виникають непередбачені обставини, наприклад, блокування портів, страйки або військові дії та забезпечує гнучкість, що особливо важливе в кризових умовах, коли швидкість ухвалення рішень критична. Досягнення диверсифікації маршрутів для забезпечення логістичної стійкості потребує системного підходу, що включає інфраструктурні, технологічні, економічні та політичні заходи. Основні кроки, які дозволять цього досягти такі:

- ✓ Розвиток мультимодальних терміналів. Це дозволяє швидко перемикає вантажі між різними видами транспорту.
- ✓ Інтеграція транспортних платформ. Використання цифрових систем для координації перевезень між різними маршрутами.
- ✓ Використання цифрових карт і даних. Аналітика маршрутів допомагає знаходити ефективні альтернативи.
- ✓ Автоматизація процесів. Наприклад, впровадження трекінгу вантажів у реальному часі для оптимізації маршрутів.
- ✓ Прогнозування ризиків. Використання технологій штучного інтелекту для оцінки можливих проблем на маршрутах. □ Підписання транзитних договорів. Співпраця з сусідніми країнами для створення альтернативних маршрутів.
- ✓ Участь у міжнародних транспортних коридорах. Наприклад, інтеграція до мережі TEN-T або Шовкового шляху.
- ✓ Гармонізація стандартів. Забезпечення однакових правил для перевезень у різних країнах.

*Інфраструктурна стійкість.* Слабка або застаріла інфраструктура є «вузьким місцем» для ефективності мультимодальних перевезень. Інвестування в її оновлення збільшує пропускну здатність і зменшує витрати. Недостатній розвиток мультимодальних хабів в Україні зменшує її конкурентоспроможність на шляху між Китаєм та ЄС. Досягнення інфраструктурної стійкості в мультимодальних перевезеннях передбачає створення транспортної системи, здатної адаптуватися до змін, витримувати вплив кризових ситуацій і забезпечувати безперебійну роботу. Ключові поступки для досягнення цієї мети:

- Будівництво транспортних хабів. Інтеграція залізничних станцій, портів і аеропортів для зручності перевантаження.
- Модернізація існуючої інфраструктури Використання новітніх технологій і матеріалів для побудови довговічних об'єктів.
- Використання єдиної логістичної платформи. Інформаційні системи для координації різних видів транспорту в одному вузлі.
- Резервні маршрути. Планування запасних шляхів для перевезення вантажів у разі катастроф або блокування основних маршрутів.
- Інфраструктурні бункери. Створення зон зберігання вантажів у кризових умовах.
- Інвестиції у спільні проекти. Наприклад, будівництво транскордонних логістичних хабів.
- Гармонізація стандартів. Уніфікація інфраструктурних вимог для забезпечення сумісності між країнами.
- Пріоритетне фінансування. Виділення коштів на критичні об'єкти транспортної мережі.

- Аналіз інфраструктури на предмет ризиків (зношеність, аварійність, вразливість до кліматичних змін).
- Регулярні перевірки. Проведення аудиту об'єктів для виявлення слабких місць.

*Цифровізація та інтеграція.* Сучасна логістика потребує прозорості та координації між усіма учасниками процесу. Цифрові рішення спрощують ці завдання та знижують ризики людських помилок. Використання платформ для відстеження вантажів дозволяє клієнтам оперативно реагувати на затримки чи зміни в маршруті.

Забезпечення цифровізації та інтеграції в мультимодальних перевезеннях є важливим кроком для підвищення ефективності, прозорості та гнучкості логістичних систем. Це досягається за допомогою впровадження сучасних технологій, гармонізації даних і координації між учасниками логістичного ланцюга. Забезпечення цифровізації та інтеграції в мультимодальних перевезеннях вимагає комплексного підходу. У табл. 2 наведені ключові дії в цьому напрямку:

Таблиця 2 – Напрями забезпечення цифровізації та інтеграції в мультимодальних перевезеннях

Напрямок цифровізації	Інструменти забезпечення	Результат впровадження
1. Впровадження цифрових платформ для координації	Створення єдиної інформаційної системи.	Єдина платформа для управління перевезеннями дозволяє інтегрувати дані між різними видами транспорту (залізничним, автомобільним, морським і авіаційним).
	Хмарні рішення.	Використання хмарних технологій для зберігання та обміну даними в реальному часі.
	Інтеграція з існуючими системами.	Впровадження митної системи, ERP-системи компаній, трекінг-платформи.
2. Використання технологій Інтернету речей (IoT)	Моніторинг вантажів.	Встановлення сенсорів, які відстежують місцезнаходження, температуру, вологість або інші параметри під час перевезення.
	Оптимізація перевантаження.	Дані з IoT-пристроїв допомагають організувати більш ефективні процеси перевантаження у вузлах.
3. Автоматизація логістичних процесів	Використання штучного інтелекту (AI).	Аналіз великих обсягів даних для прогнозування оптимальних маршрутів, розрахунку часу доставки та оцінки ризиків.
	Роботизація складів.	Автоматизовані системи для обробки вантажів у логістичних хабах
	Автоматичне сортування вантажів.	Прискорення перевантажувальних операцій на терміналах.
4. Використання блокчейн-технологій	Прозорість і безпека даних.	Блокчейн забезпечує безпеку даних і дозволяє верифікувати інформацію про вантажі.
	Контроль транспортування.	Створення "цифрового ланцюга" поставок, де кожен етап перевезення підтверджується в системі
5. Розробка інтегрованих трекінг-систем	Відстеження в реальному часі.	Використання GPS і RFID для точного моніторингу місцезнаходження вантажу на кожному етапі перевезення.
	Інтеграція з мобільними додатками.	Зручний доступ до інформації для клієнтів і партнерів через смартфони.
6. Гармонізація даних і стандартів	Єдині формати обміну даними.	Впровадження міжнародних стандартів (наприклад, EDIFACT) для полегшення передачі інформації між системами.
	Взаємодія між різними платформами.	Забезпечення сумісності локальних систем і міжнародних логістичних платформ.

7. Інтеграція з митними та регуляторними органами	Електронні митні декларації.	Автоматизація подачі документів і скорочення часу на оформлення.
	Обмін даними з державними системами.	Впровадження систем Single Window для спрощення регуляторних процедур.
8. Використання великих даних (Big Data)	Аналіз попиту та пропозиції.	Збір даних для прогнозування обсягів перевезень.
	Оцінка ефективності маршрутів.	Використання даних для визначення найоптимальніших транспортних коридорів.
	Моніторинг продуктивності.	Аналіз ключових показників ефективності (KPI) для покращення логістичних процесів
9. Підготовка кадрів до роботи з цифровими технологіями	Навчання персоналу.	Проведення тренінгів для ознайомлення з новими системами.
	Створення спеціалізованих відділів.	Підготовка команд з аналітики даних і цифрового управління логістикою.
10. Розвиток партнерських відносин	Спільне використання платформ.	Кооперація між логістичними операторами для доступу до єдиних систем.
	Участь у міжнародних цифрових проєктах.	Інтеграція в глобальні транспортні платформи, такі як TradeLens або DP World.

Ці напрями є ключовими для ефективної інтеграції мультимодальних перевезень у глобальну цифрову екосистему та підвищення конкурентоспроможності транспортного сектору. Комплексний підхід у забезпеченні цифровізації та інтеграції в мультимодальних перевезеннях означає, що всі аспекти цього процесу розглядаються взаємопов'язано, а дії спрямовуються одночасно на кілька напрямів, які впливають на ефективність перевезень. Комплексний підхід забезпечує, що жоден із аспектів цифровізації не залишається поза увагою. Це дозволяє уникнути «вузьких місць», коли, наприклад, технології впроваджені, але відсутня відповідна інфраструктура чи законодавство. Усі елементи повинні працювати синхронно, як частини єдиної системи.

*Екологічна відповідальність.* Екологічні стандарти стають обов'язковими в багатьох країнах, що стимулює компанії переходити на більш екологічні рішення. Наприклад, залізничні перевезення є екологічно чистішими, ніж автомобільні, що робить їх привабливішими для міжнародних клієнтів. Досягнення екологічності в логістиці мультимодальних перевезень вимагає впровадження рішень, які знижують викиди парникових газів, підвищують енергоефективність та мінімізують вплив на довкілля. Це можна реалізувати через наступні заходи (табл. 3). Вони забезпечують надійність, гнучкість і ефективність мультимодальних перевезень у динамічних умовах сучасного світу.

Таблиця 3 – Екологічні підходи забезпечення логістичної стійкості мультимодальних перевезень

Екологічний підхід	Напрями забезпечення логістичної стійкості
Використання екологічних видів транспорту	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Пріоритет залізничного та водного транспорту.</b> Ці види транспорту мають значно менший рівень викидів CO<sub>2</sub> на одиницю перевезеного вантажу, ніж автомобільний транспорт.</li> <li>• <b>Перехід на електричний транспорт.</b> Впровадження електромобілів, електровозів і суден із використанням відновлюваних джерел енергії.</li> <li>• <b>Судна на скрапленому природному газі (LNG).</b> Зменшення викидів SO<sub>2</sub> і NO<sub>x</sub> у морських перевезеннях.</li> </ul>
Модернізація транспортних засобів	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Підвищення енергоефективності.</b> Встановлення сучасних двигунів, які споживають менше палива.</li> <li>• <b>Аеродинамічні вдосконалення.</b> Використання конструктивних рішень для зменшення опору повітря.</li> <li>• <b>Використання біопалива.</b> Альтернативні джерела енергії, такі як біодизель чи етанол.</li> </ul>

Розвиток інфраструктури	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Зелені логістичні хаби.</b> Використання відновлюваних джерел енергії для обслуговування складів і терміналів.</li> <li>• <b>Електрифікація залізничних ліній.</b> Підвищення частки електрифікованих маршрутів у залізничному транспорті.</li> <li>• <b>Будівництво зарядних станцій.</b> Розширення мережі для електротранспорту.</li> </ul>
Упровадження концепції "зеленого ланцюга постачання"	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Мінімізація відходів.</b> Використання багаторазової упаковки та зменшення кількості непотрібних матеріалів.</li> <li>• <b>Перехід на локальні постачання.</b> Зменшення транспортних відстаней через підтримку місцевих виробників.</li> <li>• <b>Облік вуглецевого сліду.</b> Розрахунок і управління обсягами викидів CO<sub>2</sub> на всіх етапах перевезень.</li> </ul>
Підвищення обізнаності та навчання персоналу	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Навчання екологічним стандартам.</b> Інформування працівників про принципи екологічного транспортування.</li> <li>• <b>Створення культури відповідального ставлення.</b> Мотивування компаній і працівників до використання екологічних рішень.</li> </ul>
Підтримка міжнародних ініціатив	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Дотримання екологічних стандартів.</b> Виконання вимог міжнародних конвенцій, таких як MARPOL, IMO 2020.</li> <li>• <b>Участь у зелених проєктах.</b> Наприклад, інтеграція до програм "зелених коридорів" у Європі.</li> </ul>
Впровадження системи компенсації викидів	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Інвестування у відновлювані джерела енергії.</b> Побудова вітрових, сонячних чи біоенергетичних станцій.</li> <li>• <b>Підтримка проєктів з висадження дерев.</b> Компенсація викидів через збільшення зелених насаджень.</li> </ul>
Стимулювання з боку держави	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Субсидії для екологічного транспорту.</b> Зниження вартості інноваційних транспортних засобів.</li> <li>• <b>Податкові пільги.</b> Зменшення податків для компаній, які дотримуються екологічних стандартів.</li> <li>• <b>Фінансування досліджень.</b> Розвиток інновацій у сфері екологічної логістики.</li> </ul>

Отже, екологічність мультимодальних перевезень досягається завдяки поєднанню технологічних інновацій, оптимізації маршрутів, модернізації інфраструктури та активній співпраці між державою, бізнесом і суспільством. Це дозволить не лише знизити негативний вплив на довкілля, але й підвищити ефективність логістичних процесів.

**Висновок.** Логістична стійкість мультимодальних перевезень є ключовим фактором забезпечення економічної безпеки країни та конкурентоспроможності на міжнародному ринку. Стійкість логістики дозволяє забезпечити безперервність економічних процесів під час кризових ситуацій (війни, природних катаклізмів тощо). Мультимодальні перевезення виступають ключовим елементом сучасної логістики, що забезпечує інтеграцію різних видів транспорту для підвищення ефективності, гнучкості та надійності доставки вантажів. Для досягнення логістичної стійкості та сталого розвитку перевезень необхідно зосередитися на логістичній стійкості, інфраструктурній стабільності, цифровізації та екологічності в мультимодальних перевезеннях.

Забезпечення комплексного підходу логістичної стійкості мультимодальних перевезень сприяє створенню інноваційної, ефективної та сталої транспортної системи, що відповідає викликам сучасного світу підвищує привабливість України для інвесторів і партнерів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Мельник М.І., Лещух І.В. Розвиток інфраструктури мультимодальних перевезень в Україні у контексті зміни транспортно-логістичних маршрутів в умовах війни: наукова доповідь / ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М.І. Долишнього НАН України». Львів, 2023. 51 с. (Серія «Проблеми регіонального розвитку»).

2. Карпенко О. О., Бабина О. Є.. Інтенсифікація розвитку змішаних перевезень вантажів в Україні шляхом формування мережі транспортно-логістичних центрів і транспортно-логістичних кластерів *Бізнес Інформ*, 2013, №11, с. 180–185.
3. Вернигора, Р. В., Огороков, А. М., Цупров, П. С., & Павленко, О. І. (2017). Мультиmodalьні перевезення як базовий сегмент транзитного потенціалу України. *Транспортні системи та технології перевезень*, (14), 20–29. <https://doi.org/10.15802/tstt2017/123148>
4. Yaxin Pang, Shenle, Pan Eric Ballot Resilience. (2024) Analysis of Multi-modal Logistics Service Network Through Robust Optimization with Budget-of-Uncertainty, arXiv, [https://arxiv.org/abs/2405.12565?utm\\_source](https://arxiv.org/abs/2405.12565?utm_source)
5. Zhao, D., Mihaita, A.-S., & Ou, Y. (2022). Traffic disruption modelling with mode shift in multi-modal networks. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2210.06115>
6. Hatzenbühler, J., Jenelius, E., Gidófalvi, G., & Cats, O. (2022). Modular Vehicle Routing for Combined Passenger and Freight Transport. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2209.01461>
7. Uddin, M., & Huynh, N. (2024). Routing Model for Multicommodity Freight in an Intermodal Network under Disruptions. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2402.00992>