

decrease in the coefficient of technical readiness, an increase in the number of failures and downtime in maintenance and repair, which leads to higher operating costs and a decrease in the overall efficiency of their use.

Modern approaches to assessing the efficiency of rolling stock operation are analyzed, including models for determining the optimal service life of buses based on operational reliability, changes in costs, and residual value. The limitations of existing methods are identified, which consist in insufficient consideration of profitability, the complexity of determining the discount rate, and the subjectivity of assessing the consumer attractiveness of vehicles. An improved approach to technical and economic assessment is proposed, based on an integral efficiency indicator that takes into account reduced costs, transport work volumes, residual value, market conditions, and operational characteristics of buses.

Based on experimental data, a comparative analysis of the operation of buses of different models in urban conditions is carried out using the example of the city of Kropyvnytskyi. The dependence of specific costs for maintaining operability on mileage is studied, and it is established that after reaching a mileage of about 350 thousand km, a significant increase in these costs occurs. It is found that foreign-made buses are characterized by more stable technical condition indicators, although they have higher maintenance costs, while domestic models are less stable but have lower initial costs.

It is emphasized that the efficiency of rolling stock operation should be assessed comprehensively, not only in terms of costs, but also taking into account profit and productivity. The proposed approach makes it possible to more reasonably determine the feasibility of further operation or replacement of buses, which will contribute to optimizing the structure of the rolling stock fleet, increasing the economic efficiency of transportation, and reducing the costs of motor transport enterprises.

efficiency of operation, buses, mileage, technical reliability, specific costs, rolling stock, service life, technical and economic assessment, transport work, optimization

Одержано (Received) 30.03.2026

Прорецензовано (Reviewed) 03.04.2026

Прийнято до друку (Approved) 07.04.2026

УДК 656.02:656.073

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).383-397](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).383-397)

Д.О. Кульова, д-р філос., **А.В. Гриньків**, ст. дослід., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: d.coolava@gmail.com, avgrinkiv@gmail.com

Виявлення та аналіз перешкод у застосуванні мультимодальних технологій в логістиці вантажних перевезень

Європейська Комісія звертає основну увагу на вдосконалення мультимодальних вантажних перевезень, щоб зменшити проблеми, що пов'язані з екологією, заторами, а також досягти всіх цілей, які визначені у Паризькій угоді. Стимулювання мультимодальності не дає значних результатів, через те, що більшість вантажних перевезень продовжують здійснюватися автомобільним транспортом. За таких умов необхідно визначити основні проблемні питання, пов'язані з мультимодальними перевезеннями у логістичних послугах, а також розробити рекомендації для їх вирішення.

Перешкоди для розвитку мультимодальних вантажних перевезень аналізуються комплексно з використанням математичного та структурного моделювання. Визначено основні перешкоди розвитку мультимодальності, які пов'язані з: попитом, характером відправлень вантажів, інфраструктурою, низькою пропозицією, неналежною організацією транспортного процесу із законодавством та ін.

Розроблено орієнтовані на користувача необхідні заходи для підтримки мультимодальних перевезень, використовуючи підхід «знизу догори». Показано, що участь логістичних компаній сприяє прийняттю запропонованих заходів. Формування економічної ефективності, аналіз та обробка логістичної інформації та підготовка кваліфікованого персоналу або підвищення обізнаності в логістичних колах, в роботі визначені як заходи, що мають значний вплив на стимулювання мультимодальних перевезень.

мультимодальне перевезення, вантажні перевезення, перешкода, інтерпретаційне структурне моделювання, транспортно-логістична система

Постановка проблеми. Вантажні перевезення автомобільним транспортом (АТ) мають більший темп розвитку, ніж перевезення іншим видом транспорту, в той же час даний вид транспорту має негативні екологічні показники. До того ж проблеми з заторами постійно збільшуються, що створює значні витрати на розвиток інфраструктури. Можливим вирішенням даної проблеми є реалізація мультимодальних вантажних перевезень. Основна концепція мультимодальних вантажних перевезень була запропонована для зниження екологічного впливу АТ шляхом перевезення значних партій вантажів залізничним або водним транспортом. Мультимодальні перевезення (ММП) – це перевезення вантажів щонайменше двома різними видами транспорту. З метою комбінованого використання декількох видів транспорту можна реалізувати сильні сторони кожного виду транспорту та знизити слабкий вплив кожного з них. Таким чином, економічна ефективність і стабільність залізничного та водного транспорту повинні також поєднуватися з гнучкістю та швидкістю АТ.

Від моменту появи концепції ММП країни Європейського Союзу (ЄС) докладали значні зусилля для розвитку таких перевезень, оскільки вони є ключовими ланками в боротьбі зі зростанням викидів парникових газів при реалізації перевізного процесу. ЄС виявив загрозливу ситуацію дисбалансу між транспортною роботою в різних видах транспорту, а також розробив низку заходів для вирівнювання цього дисбалансу, таких як: зміна ціноутворення, збільшення інвестицій, що спрямовані на збільшення частки сталих видів транспорту та економічної ефективності логістики європейських країн. Слід зазначити, що європейський логістичний ринок в останній час створює всі умови, щоб забезпечити всіх заходів розвитку мультимодальності. Така увага свідчить про те, що ММП є ефективним способом для підвищення якості та продуктивності транспортних систем.

Розглядаючи окремі проблемні питання ММП, такі як регулювання залізничного транспорту, вагонні системи, транспортний менеджмент, необхідно впроваджувати системний підхід. Даний підхід є ефективним для розроблення рекомендацій, які пропонують впровадження інтегрованих рішень в транспортні системи логістики. Відповідно, першим проблемним питанням є: виявлення ключових перешкод для розширення ММП і визначення, як вони пов'язані між собою.

Розробка та розвиток алгоритмів моделювання логістичних систем з ММП є важливим інструментом для виявлення та вивчення взаємозв'язків між проблемними питаннями ринку та управління в компаніях з ММП. Під час реалізації даних алгоритмів можливо відобразити важливі структурні взаємодії та сформувати ієрархію між виявленими перешкодами розвитку даного виду перевезень. Розроблені методи слід використовувати під час розробки рішень стратегічних заходів, що дає можливість підтримати впровадження та реалізацію ММП різних видів вантажів. Розробка стратегічних рішень для запровадження ефективних заходів, що розвивають мультимодальність в логістичних ланцюгах, потребує виявлення основних вимог та потреб споживачів логістичних послуг в ММП, в більшості випадків логістичних компаній України.

Також необхідно розглянути питання основних стратегічних заходів, що допоможуть логістичним компаніям України розвивати логістичні ланцюги ММП. При цьому застосовується підхід «знизу догори» за участю логістичних операторів та кількох інших учасників ММП. Залучення логістичних компаній України дає можливість розробити заходи, що будуть орієнтовані на користувачів логістичних послуг та адаптовані до потреб тих, хто безпосередньо впроваджує ММП на практиці. Оскільки логістичні компанії України є важливими учасниками перевізного процесу та мають значні бази даних, вони можуть суттєво коригувати різні процеси та реалізовувати стратегічні рішення в даному напрямку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У наукових дослідженнях вантажних перевезень значна увага приділяється питанням функціонування транспортно-логістичних систем (ТЛС) та підвищенню ефективності перевізного процесу загалом, що формує теоретичне підґрунтя для організації ММП. Зокрема, розглядаються підходи до удосконалення технологій перевезення вантажів у контейнерах [1], у т.ч. температурно чутливих вантажів у рефрижераторних контейнерах [2], що є важливим з огляду на необхідність забезпечення безперервності умов транспортування та збереження вантажу при зміні видів транспорту в межах мультимодальних транспортних ланцюгів.

У ряді досліджень розглядаються питання перевезення вантажів, зокрема небезпечних [3], у яких обґрунтовано вибір більш безпечних маршрутів перевезення [4], здійснено оцінювання ризиків при реалізації перевізного процесу [5] та визначено превентивні заходи щодо забезпечення високого рівня безпеки при виконанні перевезень [6, 7]. Зазначене дозволяє враховувати особливості використання різних видів транспорту, проте не в повній мірі охоплює питання їх взаємодії.

У роботі [8] висвітлено особливості функціонування транспортно-логістичних терміналів та проаналізовано параметри їхньої роботи. Основну увагу зосереджено на організації процесів у вузлових точках, де відбувається взаємодія елементів транспортної системи та забезпечується безперервність переміщення вантажів.

Теоретичні та методологічні основи організації роботи логістичних систем, а також закономірності функціонування транспортної інфраструктури відображено у роботі [9], що дозволяє розглядати перевезення як складну інтегровану систему взаємопов'язаних процесів. Питання формування та функціонування логістичних центрів у ТСЛ досліджено у роботі [10], де визначено їхню роль як ключових елементів інфраструктури, що забезпечують взаємодію різних видів транспорту та обслуговування вантажопотоків. Разом із тим наведені дослідження переважно зосереджені на окремих аспектах функціонування ТЛС, технологіях перевезення та організації перевізного процесу. У той же час у науковій літературі приділяється увага питанням мультимодальних, інтермодальних та комбінованих перевезень, що розглядаються як форма інтеграції різних видів транспорту в межах єдиного перевізного процесу. Так, у роботі [11] досліджено вплив розвитку мультимодальних перевезень на внутрішні та міжнародні транспортні процеси. Встановлено їхній позитивний ефект, більш виражений для міжнародних перевезень, а також визначено відмінності залежно від виду транспорту та регіону країни.

У роботі [12] проаналізовано розвиток ММП зерна та їх роль у підвищенні ефективності логістичних систем. Встановлено, що мультимодальні перевезення забезпечують підвищення ефективності маршрутів, узгодження роботи різних видів транспорту та стійкість ланцюгів постачання. Також узагальнено наявні технічні обмеження та окреслено напрями подальших досліджень.

Математичну модель маршрутизації перевезень різних видів вантажів в інтермодальній мережі за умов збурень представлено в роботі [13]. Модель спрямована на мінімізацію операційних витрат, витрат на перевалку в терміналах, а також витрат, пов'язаних із неможливістю виконання перевезень у повному обсязі. Отримані результати показали, що в умовах збурень доцільним є використання автомобільно-залізничних інтермодальних перевезень завдяки можливості застосування альтернативних маршрутів.

В роботі [14] розглянуто організацію міжнародних мультимодальних перевезень вантажів у діяльності транспортно-експедиторських підприємств. Запропоновано імітаційну модель, яка дозволяє оптимізувати процес обслуговування перевезень з урахуванням тривалості операцій, затримок та помилок. Встановлено, що застосування

моделі сприяє скороченню часу обслуговування та підвищенню ефективності організації мультимодальних перевезень.

Таким чином, аналіз останніх досліджень у цьому напрямі свідчить про те, що вони присвячені окремим аспектам функціонування ТЛС та реалізації мультимодальних вантажних перевезень. Водночас недостатньо уваги приділено комплексному дослідженню виявлення та аналізу проблем розвитку ММП з урахуванням потреб замовників та організаційних особливостей перевізного процесу.

Метою роботи є формулювання початкових етапів розвитку та аналізу перешкод реалізації мультимодальних вантажних перевезень, для науково обґрунтованого підґрунтя та подальшої практичної реалізації у сфері транспортної логістики.

Для реалізації мети визначене розв'язання наступних завдань:

- сформулювати основні методи дослідження та виявлення перешкод розвитку мультимодальних вантажних перевезень;
- розробити інтерпретативну модель виявлення та аналізу перешкод мультимодальних вантажних перевезень;
- виявити рівні впливу перешкод на розвиток мультимодальних технологій в логістиці вантажних перевезень.

Виклад основного матеріалу. В дослідженні розвитку мультимодальних вантажних перевезень основна структура формується на інтерпретативному структурному моделюванні (ISM) [15]. Це дає змогу виявити та класифікувати перешкоди ММП і на основі цього сформулювати початкові умови для розвитку мультимодальності у вантажних логістичних перевезеннях (рис. 1). Щоб виявити перешкоди, які значно впливають на споживачів транспортної логістики, та розробити відповідні рішення зниження впливу даних перешкод на розвиток мультимодальних транспортних ланцюгів, було використано підхід «знизу догори». У межах реалізації такого роду підходу проаналізовано логістичні провайдери у форматі багаторазового дослідження відмов від мультимодальних перевезень.



Рисунок 1 – Структура виявлення перешкод розвитку мультимодальних вантажних перевезень
Джерело: розроблено авторами

У сучасній міжнародній практиці відсутній єдиний чинний нормативно-правовий акт, який би комплексно регулював ММП. Натомість правове регулювання здійснюється на основі сукупності міжнародних конвенцій, що застосовуються залежно від виду транспорту. Для автомобільних перевезень – це Конвенція про договір міжнародного автомобільного перевезення вантажів (Convention on the Contract for the International Carriage of Goods by Road, CMR), для залізничних – Конвенція про міжнародні залізничні перевезення (Convention concerning International Carriage by Rail, COTIF), зокрема Єдині правила перевезення вантажів залізницею (Uniform Rules Concerning the Contract of International Carriage of Goods by Rail, CIM), для морських – міжнародні конвенції у сфері морських перевезень (коносаментні режими).

У межах одного перевезення можуть одночасно застосовуватися різні правові режими, що зумовлює фрагментарний характер регулювання. Спроба уніфікації підходів до організації мультимодальних перевезень на міжнародному рівні була здійснена в межах Конвенції ООН про міжнародні мультимодальні перевезення вантажів. У зазначеному документі мультимодальне перевезення визначається як перевезення вантажів із використанням двох або більше видів транспорту на підставі єдиного договору мультимодального перевезення, що укладається між замовником та оператором ММП [16]. При цьому оператор виступає відповідальною особою за виконання перевезення на всьому маршруті незалежно від кількості залучених видів транспорту. Однак зазначена Конвенція не набула чинності, хоча її концептуальні положення, зокрема щодо єдиного договору та єдиної відповідальності логістичного оператора, отримали подальший розвиток у національному законодавстві країн та практиці. Зокрема, у Законі України «Про мультимодальні перевезення» [17] закріплено підхід до здійснення ММП на основі єдиного договору мультимодального перевезення.

Термінологічні засади ММП визначаються у документі Європейської економічної комісії ООН (UNECE) Terminology on Combined Transport, який має рекомендаційний характер і містить термінологічні визначення, що відображають технологічні особливості організації перевезень [18]. ММП розглядається як перевезення вантажів із використанням двох або більше видів транспорту, інтермодальне – як перевезення в межах однієї вантажної одиниці без перевантаження самого вантажу, а комбіноване – як різновид інтермодального перевезення (у законодавстві України, як різновид мультимодального), у якому основна частина маршруту здійснюється залізничним, внутрішнім водним або морським транспортом, а початкові та/або кінцеві ділянки автомобільним транспортом на короткі відстані.

Загалом значна кількість менеджерів із компаній транспортної логістики вантажних вантажів погодилися брати участь в онлайн інтерв'ю, що стосувалися питання розвитку мультимодальності логістичних ланцюгів. Інформацію про основні компанії представники яких брали участь в онлайн інтерв'ю наведено в таблиці 1. Процес вивчення експертних даних та потреб логістичних транспортних компаній проводився значний період часу. За даний час, детально досліджено перспективу мультимодальності вантажних перевезень, сформовано чітке розуміння перешкод та можливостей розвитку ММП.

Для проведення онлайн інтерв'ю окремо з кожною групою або одним представником компаній що займаються ММП було також розіслано запрошення підприємствам, які брали участь у окремих різномірних кейс-дослідженнях логістичних послуг, але й представників інших груп стейкхолдерів, залучених до впровадження та просування ММП. Це було зроблено для того, щоб розширити дискусію онлайн інтерв'ю та забезпечити додаткові точки зору від інших учасників логістичного ринку. До фокус - груп також увійшли представники інфраструктурних операторів

(залізничних та внутрішніх водних шляхів), вантажовідправники, науково - дослідні організації.

Загалом від 3 до 5 учасників взяли участь у першій фокус-групі, присвяченій аналізу контекстуальних взаємозв'язків між перешкодами мультимодальності вантажних перевезень, а 5 учасників – у другій фокус-групі, спрямованій на розробку методичного апарату аналізу основних перешкод розвитку мультимодальних транспортних перевезень. В подальшому було детально описано та розроблено інструменти інтерпретативної структурної моделі виявлення перешкод мультимодальності в ланцюгах вантажних перевезень, а також подається опис ІСМ.

Таблиця 1 – Основні характеристики логістичних компаній, представники яких брали участь в онлайн опитуванні, з питань можливості аналізу та розвитку мультимодальних ланцюгів доставки вантажів

№	Компанії, що забезпечують мультимодальні перевезення в Україні	Посада респондента	Розмір компанії	Основні види транспорту та послуги	Частка транспортних операцій, виконаних у мультимодальному форматі
1	2	3	4	5	6
1	Daleth Group	Генеральний директор, керівник філії; керівник підрозділу (за видами транспорту); Керівник з управління ризиками та логістики.	Середня (стабільний клієнтський набір, регіональна присутність)	Автомобільний, морський, залізничний	15–20% (компанія працює з контейнерними потоками та міжнародними перевезеннями)
2	Zammler		Велика (одна з найбільших в Україні)	Автомобільний, авіаційний, морський, залізничний, складська логістика.	35–45% (компанія розвиває мультимодальні маршрути ЄС і Китаю)
3	DSV Ukraine		Велика (одна з найбільших в Україні)	Автомобільний, авіаційний, морський, залізничний, інтермодальні ланцюги.	25-30% (компанія розвиває глобальну логістичну мережу)
4	Wingo		Мала (масштабові регіональні рішення)	Автомобільний, залізничний.	5-10% (компанія в основному опирається на автоперевезення і високу логістичну мобільність)
5	SYNEX Logistics		Середня (стабільний клієнтський набір, регіональна присутність)	Автомобільний, морський, залізничний.	12-18% (компанія працює з контейнерними перевезеннями та логістикою e-commerce)

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
6	Ekol Ukraine		Велика (представник турецької Ekol Logistics).	Автомобільний, морський, залізничний, інтермодальні ланцюги.	30-35% (компанія одна з найбільших мультимодальних операторів у Європі)
7	KST Group		Середня (стабільний клієнтський набір, регіональна присутність)	Автомобільний, морський, залізничний.	10-15% (компанія працює з контейнерними перевезеннями, але мультимодальність не основний профіль)
8	Ally Logistic		Мала (має чудові регіональні рішення)	Автомобільний, морський,	5-10% (компанія працює з контейнерними перевезеннями, але мультимодальність не основний профіль)
9	AsstrA		Велика (міжнародна група).	Автомобільний, морський, авіаційний, залізничний, інтермодальні ланцюги.	25-40% (компанія працює з контейнерними та інтермодальними сервісами)
10	UTEC Logistics		Середня (стабільний клієнтський набір, регіональна присутність)	Автомобільний, морський, залізничний.	10-15% (компанія постійно реалізує мультимодальні перевезення)

Джерело: розроблено авторами

Першим етапом побудови інтерпретативної структурної моделі є визначення елементів моделі перешкод розвитку мультимодальності. Для їх ідентифікації було проведено ґрунтовний огляд досліджень даного напрямку. Опираючись на них було сформовано блоки основних питань для онлайн інтерв'ю з представниками компаній (табл. 2).

Таблиця 2 – Основні блоки питань для представників компаній, що займаються мультимодальними перевезеннями

№	Блоки питань та їх сутність
1	2
I Оцінка ефективності мультимодальних перевезень:	
1	Як ви оцінюєте ефективність реалізації мультимодальних вантажних перевезень на коротких відстанях у вашій компанії?
2	Які мінімальні обсяги вантажу дають можливість мультимодальним ланцюгам бути економічно доцільними для вашої компанії?
3	Наскільки мультимодальні рішення придатні для термінових або чутливих до часу вантажів?
4	Які типи вантажів у вашій компанії найменш підходять для мультимодальних перевезень?
II Оцінка можливостей транспортної інфраструктури для мультимодальних вантажних перевезень:	

№	Блоки питань та їх сутність
1	2
1	Наскільки якість транспортної інфраструктури впливає на мультимодальні маршрути у вашій компанії?
2	Чи достатня кількість та зручність сервісів (залізничних, морських, інтермодальних) для реалізації мультимодальних ланцюгів перевезень?
3	Які інфраструктурні обмеження найбільше стримують розвиток мультимодальності у вашій компанії?
4	Наскільки критичною є проблема взаємної сумісності між різними видами транспорту у логістичних ланцюгах вашої компанії?
5	Які інфраструктурні інвестиції, на вашу думку, дали б найбільший ефект для мультимодальних вантажних перевезень?
III Організаційні та операційні перешкоди в транспортних компаніях	
1	Наскільки мультимодальні перевезення збільшують організаційне навантаження на ваших співробітників?
2	Як мультимодальні перевезення впливають на гнучкість компанії в операційній діяльності?
3	Які внутрішні процеси довелося змінити для роботи з мультимодальними ланцюгами вантажних перевезень?
4	Чи відчуваєте ви недостатню координацію між учасниками ланцюга постачання під час реалізації мультимодальних перевезень?
5	Які цифрові інструменти найбільше допомагають зменшити складність мультимодальних операцій?
IV Ринкові та клієнтські фактори в мультимодальних ланцюгах вантажних перевезень	
1	Як клієнти сприймають мультимодальні перевезення порівнюючи з автоперевезеннями?
2	Чи зустрічали ви випадки відмови клієнтів від мультимодальних перевезень через недовіру до їх ефективності або негативне сприйняття?
3	Які аргументи найкраще переконують клієнтів обирати мультимодальні перевезення?
4	Наскільки сильно цінова конкуренція та мобільність з боку автотранспорту впливає на реалізацію мультимодальних перевезень?
5	Який сектор клієнтів найактивніше переходить та користується мультимодальними перевезеннями?
V Регуляторні та нормативні перешкоди в мультимодальних перевезеннях	
1	Які регуляторні вимоги та умови найбільше ускладнюють мультимодальні перевезення?
2	Чи впливає відсутність міжнародних технічних стандартів у різних видах транспорту на вашу діяльність?
3	Наскільки складною є взаємодія з митними та адміністративними органами?
4	Як державне регулювання в різних видах транспорту впливає на ваші мультимодальні сервіси?
5	Які зміни в законодавстві могли б найбільше стимулювати розвиток мультимодальності в логістиці?
VI Особливості стратегії розвитку мультимодальності в логістиці України	
1	Які ключові фактори визначають доцільність запуску нового мультимодального маршруту?
2	Як ви оцінюєте потенціал зростання мультимодальних перевезень у вашій компанії до 2035 року?
3	Які партнерства і взаємодія (залізниця, порти, термінали) є найбільш критичними для розвитку вашої компанії?
4	Чи плануєте ви здійснювати інвестиції у власні мультимодальні потужності і проекти (контейнери, трейлери, термінальні рішення)?
5	Які технології в транспортній логістиці, на вашу думку, найбільше вплинуть на розвиток мультимодальних ланцюгів вантажних перевезень у найближчі 5 років?
6	Які головні перешкоди ви вважаєте пріоритетними для усунення на рівні логістичного ринку або національного, регіонального масштабу?

Джерело: розроблено авторами

Кожне інтерв'ю за цими питаннями записувалося та згодом транскрибувалося інтерв'юером. Тривалість розмов становила приблизно 20–35 хвилин, загалом було зібрано понад 5 годин аудіоматеріалів. Після всіх інтерв'ю було сформовано практичну базу даних кожного з досліджуваних питань. Перелік ідентифікованих блоків перешкод розвитку мультимодальних ланцюгів доставки вантажів наведено рисунку 2.



Рисунок 2 – Основні поточні блоки перешкод розвитку мультимодальності в ринку логістики
Джерело: розроблено авторами

Після визначення основних блоків перешкод наступним етапом є встановлення контекстуальних взаємозв'язків між даними блоками. Сформована фокус-група провела оцінювання взаємозв'язків між визначеними блоками перешкод, які відображено на рисунку 2 шляхом розроблення структурної матриці взаємодії, яка наведена у таблиці 3.

Таблиця 3 – Матриця структурної взаємодії блоків перешкод розвитку мультимодальних ланцюгів перевезення

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		δ	δ	β	β	β	β	δ	α	β	β	β	β	β	β
2			δ	β	β	β	β	δ	α	β	β	β	β	β	β
3				β	β	β	β	δ	α	β	β	β	β	β	β
4					α	α	δ	δ	α	β	β	γ	δ	δ	β
5						γ	β	β	β	0	β	β	δ	β	β
6							δ	β	α	β	γ	β	δ	γ	β
7								δ	α	δ	δ	α	δ	δ	δ
8									α	γ	α	δ	γ	α	γ
9										β	β	β	β	β	β
10											α	α	δ	γ	β
11												γ	δ	δ	β
12													δ	δ	β
13														γ	β
14															γ
15															

Джерело: розроблено авторами

Разом із експертами, які погодилися взяти участь та були добровольцями в даному дослідженні, вони безпосередньо брали участь у організації мультимодальних маршрутів доставки вантажів компаній-учасників та науково-дослідних підрозділів. Експерти проводили оцінку наявності взаємозв'язків між будь-якими попарними перешкодами, а також характер цього взаємозв'язку з відображенням їх в матриці структурної взаємодії блоків.

Підчас реалізації ICM використовуються чотири символи для позначення типу взаємозв'язку між елементами в межах структурної матриці взаємодії. Експерти розподіляють вплив перешкод відповідно до їх досвіду та практичного результату в компаніях. Матриця в кінцевому варіанті формується за найбільш точною реалізацією і врахуванні всіх думок експертів. В матриці є наступні варіанти впливу перешкод: α - перешкода i впливає на перешкоду j ; β - перешкода j впливає на перешкоду i ; γ - перешкоди i та j взаємно впливають одна на одну; δ - перешкоди i та j не пов'язані між собою.

На наступному етапі аналізу первісну матрицю структурної взаємодії необхідно перетворити у матрицю досяжності шляхом заміни символів α , β , γ та δ на бінарні значення 0 і 1 за відповідними правилами. Матрицю досяжності формується за наступними правилами:

Правило 1: якщо елемент (i, j) у матриці структурної взаємодії блоків перешкод дорівнює α , тоді елемент (i, j) у матриці досяжності стає -1 , а елемент $(j, i) - 0$;

Правило 2: якщо елемент (i, j) у матриці структурної взаємодії блоків перешкод дорівнює β , тоді елемент (i, j) у матриці досяжності стає -0 , а елемент $(j, i) - 1$;

Правило 3: якщо елемент (i, j) у матриці структурної взаємодії блоків перешкод дорівнює γ , тоді елемент (i, j) у матриці досяжності стає -1 , і елемент (j, i) також стає -1 .

Правило 4: якщо елемент (i, j) у матриці структурної взаємодії блоків перешкод дорівнює δ , тоді елемент (i, j) у матриці досяжності стає -0 , і елемент (j, i) також стає -0 .

Результати перетворень представлено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Матриця досяжності впливу на розвиток мультимодальності логістичних ланцюгів

$i \backslash j$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Сила впливу
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
2	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
3	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2
4	1	1	1	1	1	1*	0	0	1	0	1*	1	0	1*	0	7
5	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1*	0	1*	1*	0	6
6	1	1	1	1*	1	1	0	1*	1	1*	1	1*	1	1	1*	9
7	1	1	1	1*	1	1*	1	0	1	0	1*	1	0	1*	0	7
8	1*	1*	1*	1*	1	1	0	1	1	1	1	1*	1	1	1	9
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
10	1	1	1	1	1*	1	0	1	1	1	1	1	1*	1	1*	11
11	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1*	1*	0	9
12	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1*	1	1	1*	1	1*	10
13	1	1	1	0	1*	1	0	1	1	1*	1*	1*	1	1	1*	8
14	1	1	1	1*	1	1	0	1*	1	1	1*	1	1	1	1	11
15	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	14
Залежність	11	11	11	5	9	9	1	4	15	4	6	7	5	7	3	
Транзистивність	1	1	1	4	2	2	0	2	0	3	5	3	4	4	4	

Джерело: розроблено авторами

Можна бачити, що матриця досяжності впливу на розвиток мультимодальності логістичних ланцюгів отримується з урахуванням транзитивності у взаємозв'язках перешкод. Транзитивність означає, що між перешкодами i та j є непрямий зв'язок через інший елемент k . Це означає, що i впливає на k , а k впливає на j , і тому елемент (i, j) у фінальній матриці досяжності позначається як 1*. Найбільш транзитивними проблемами є: недостатній розвиток інфраструктури (термінали, під'їзні колії тощо); низька щільність мережі для ММП; адміністративні перешкоди в компаніях; відсутність координації; державне регулювання залізничного транспорту. Дані проблеми можуть відображати вплив інших проблем на розвиток мультимодальних вантажних перевезень.

Матриця досяжності описує повну систему причинно-наслідкових зв'язків між перешкодами розвитку ММП, яка включає прямі та непрямі причинно-наслідкові (транзитивні) зв'язки, коли одна перешкода впливає на іншу через посередництво третьої перешкоди. В даній матриці також відображається наскільки перешкода є впливовою шляхом відображення кількості перешкод які саме вона спричиняє. А також за даною матрицею можливо визначити залежність перешкод, а саме можливо визначити скільки інших перешкод впливають на конкретну перешкоду розвитку ММП. Транзитивність перешкод також дає розуміння які перешкоди мають найбільше зв'язок, які породжують базові перешкоди.

На основі матриці досяжності впливу на розвиток мультимодальності логістичних ланцюгів можна визначити множину впливу перешкоди, множину попередників перешкоди та множину перетину в перешкоді для кожної конкретної перешкоди, що було виявлено на рисунку 2, з використанням ІСМ. Множина впливу перешкоди включає елемент або сукупність елементів, на які він може впливати. Множина попередників перешкоди включає саму перешкоду та всі інші перешкоди, які впливають на неї. Множина перетину в перешкоді складається з елементів, що одночасно входять і до множини впливу перешкоди і до множини попередників перешкоди. Всі відповідні вище зазначені множини перешкод відображено в таблиці 5.

Щоб визначити рівень перешкоди, потрібно порівняти множину впливу перешкоди та множину перетину в перешкоді для певної перешкоди, якщо дані множини співпадають, цій перешкоді призначається рівень I. Потім дану перешкоду видаляють з всіх множин таблиці і повторюють аналіз, якщо є інші співпадаючі множини, то відповідній перешкоді призначають рівень II. Процес повторюється таку кількість разів, поки всі елементи не будуть розподілені за рівнями.

Таблиця 5 – Множини та рівні впливу перешкод

№ перешкоди	Множина впливу на перешкоди	Множина попередників перешкоди	Множина перетину в перешкоді	Рівень
9	9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	9	I
1	1, 9	1, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	1	II
2	2, 9	2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	2	II
3	3, 9	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	3	II
5	1, 2, 3, 5, 6, 9, 11, 13, 14	4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	5, 6, 11, 13, 14	III
11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 15	4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	4, 5, 6, 11, 12, 13, 14, 15	III
12	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 15	4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	4, 6, 11, 12, 13, 14, 15	III

№ перешкоди	Множина впливу на перешкоди	Множина попередників перешкоди	Множина перетину в перешкоді	Рівень
13	1, 2, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15	III
14	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	4, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15	4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 15	III
4	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 14	4, 6, 11, 12, 14, 15	4, 6, 11, 12, 14	IV
8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	8, 10, 13, 14, 15	8, 10, 13, 14, 15	IV
6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	6	6, 10, 11, 12, 13, 14, 15	V
7	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14	7	7	V
10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	10, 13, 14, 15	10, 13, 14, 15	V
15	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15	6, 8, 10, 12, 13, 14, 15	6, 8, 10, 12, 13, 14, 15	V

Джерело: розроблено авторами

Дані таблиці 5 та застосування алгоритмів ICM дає можливість виявити множини впливів на перешкоду та множини попередніх перешкод. Натомість множина перетинів в перешкоді буде відображати спільні елементи між впливами та попередниками. Рівень в даній таблиці відображає ієрархічний рівень перешкоди в блоках перешкод розвитку мультимодальних вантажних перевезень на логістичному рівні України. В свою чергу рівень перешкоди I перешкода № 9, яка не має попередників, цей рівень відображає найбільш незалежну перешкоду. Рівні II-V перешкоди №№ 1-8,10-15 відображають поступове зниження відповідно по ієрархії, де перешкоди в свою чергу є значно більш залежними. Результати дослідження свідчать, що дана таблиця вкрай необхідна для аналізу ієрархії перешкод, що впливають на мультимодальні вантажні перевезення провідних компаній України. Також встановлені рівні перешкод можуть відображати: ключову перешкоду (рівень I): перешкода №9, проміжні перешкоди (рівні II-III): перешкоди №№1-3,5, 11-14, а також перешкоди, які формуються по наслідкам попередніх перешкод (рівні IV-V): перешкоди №4,8,6,7,10,15.

В свою чергу, перешкода №9 (рівня I) є системоутворювальною перешкодою в розвитку мультимодальних маршрутів вантажних перевезень транспортних компаній України. Дана перешкода запускає інші перешкоди в сформованій системі. Перешкода № 9 є драйвером перешкод розвитку мультимодальних перевезень вантажів, а тому саме з неї необхідно починати працювати і оптимізувати. Перешкоди №1-3 являються ключовими проміжними драйверами, які безпосередньо залежать від перешкоди на рівні I. Вони мають значний вплив на переважну частину сформованих перешкод розвитку.

Критичними для управління, в свою чергу, є перешкоди № 1-3, дані перешкоди відображають та збільшують основу середньорівневих проблем розвитку мультимодальності вантажних маршрутів перевезення. Перешкоди №№5,11-14 є середньорівневими системними перешкодами, які формуються через базову комбінацію перешкод рівнів I-II. Зону тактичного управління мультимодальними вантажними перевезеннями формують перешкоди №№ 5, 11-14, над ними потрібно працювати на верхніх рівнях перешкод. Перешкоди №№4, 8 є наслідковими перешкодами рівнів I-III, які неможливо усунути без проробленої роботи з перешкодами вищих рівнів. Перешкоди №№6, 7, 10, 15 є симптоматичними перешкодами, виявлення розбалансування мультимодальних перевезень і збільшення проблематичних моментів, в операційній діяльності компаній, що застосовують мультимодальні вантажні перевезення. Операційними наслідками запобігання і

негативними маркерами є перешкоди №№ 4, 8, 6, 7, 10, 15. Вони мають щоденний характер з якими постійно стикається менеджмент мультимодальних вантажних перевезень. Стратегічний вплив на них не дасть в довготривалій перспективі бажаного результату розвитку мультимодальності вантажних перевезень українських транспортних компаній.

Висновки:

1. З'ясовано, що не існує єдиного чинного нормативно-правового акту, який би комплексно регулював мультимодальні перевезення в міжнародному сполученні. Виявлено, що правове регулювання здійснюється на основі сукупності міжнародних конвенцій, що застосовуються залежно від виду транспорту, зокрема: Конвенція про договір міжнародного автомобільного перевезення вантажів, Конвенція про міжнародні залізничні перевезення, зокрема Єдині правила СІМ, та коносаментні режими для морських перевезень. Тому важливо враховувати, що у межах одного мультимодального перевезення можуть одночасно застосовуватися різні правові режими транспортування в логістичному ланцюгу.

2. Сформовано структуру дослідження та аналізу перешкод розвитку мультимодальних технологій в логістиці вантажних перевезень та виявлено на ринку України основні транспортні компанії, що безпосередньо мають значну частку логістичного ринку мультимодальних перевезень. З даних компаній було сформовано групу, яка брала участь у окремих інтерв'ю стосовно перешкод розвитку мультимодальних перевезень.

3. Розроблено основні блоки питань для представників компаній, що займаються мультимодальними перевезеннями. Дані питання дали можливість виявити 15 основних поточних блоків перешкод розвитку мультимодальності в ринку логістики українських транспортних компаній.

4. Сформовано матрицю досяжності впливу на розвиток мультимодальності логістичних ланцюгів, матрицю структурної взаємодії блоків перешкод розвитку мультимодальних перевезень та виявлено рівні впливу перешкод на дані перевезення. З відповідних рівнів перешкод було визначено, що проблема негативного сприйняття або відмова з боку вантажовласників є базовою перешкодою розвитку мультимодальних перевезень, а основу середньорівневих проблем формують перешкоди, які пов'язані з неефективністю мультимодальності на коротких відстанях, малих партіях вантажів та термінових доставках вантажів. Визначено, що розробка рекомендацій вирішення даних перешкод потребує подальших системних досліджень.

Список літератури

1. Fesovets O., Strelko O., Berdnychenko Yu., Isaienko S., Pylypchuk O. Container Transportation by Rail Transport Within the Context of Ukraine's European Integration. *Proceedings of 23rd International Scientific Conference «Transport Means 2019»*. 2019. P. 381–386.
2. Kulova D., Boyko M., Kosyakevych D. Assessment of Risk Factors and Improvement of Transportation Technology for Temperature-Sensitive Cargo in Refrigerated Containers. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2026. Issue 13(44). P. 230-240.
3. Lavrukhin O., Kovalov A., Schevcenko V., Kyman A., Kulova D. Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, Issue 3 (98). P. 25-31. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163442>
4. Lavrukhin O., Kovalov A., Kulova D. Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. *SHS Web of Conferences*. 2019. Vol. 67. P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005>
5. Аулін В.В., Кульова Д.О., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Оцінювання ризиків несхоронних перевезень нафтопродуктів автомобільним транспортом. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41), ч.ІІ, С. 205-213. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.205-213](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213)
6. Кульова Д.О., Магопєць С.О., Лівіцький О.М. Безпека дорожнього руху в Україні: оцінювання ризиків і перспективи цифровізації. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025.

- Вип. 11(42), ч.ІІ. С. 298-312. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.278-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285)
7. Кульова Д.О. Застосування концептуального підходу ризик-менеджменту в сфері безпеки руху на транспорті. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2024. Вип. 10(41), ч.І. С. 261-269. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.261-269](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269)
 8. Аулін В.В., Кульова Д.О., Варваров В.В. Виявлення, аналіз і прогнозування параметрів ризику безвідмовного навантаження готової продукції на транспортно-логістичному терміналі підприємства. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч.І. С. 263-271. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.263-271](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.263-271).
 9. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.
 10. Аулін В. В., Митник М. М., Ляшук О. Л., Гевко І. Б., Цьонь О. П., Лисенко С. В., Гудь В. З., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Бабій М. В. Формування та функціонування логістичних центрів в регіональних транспортно-логістичних системах України: монографія за заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В. В., д.т.н., проф. Ляшука О. Л. – Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. – 393 с.
 11. Wei L., Zheng X., Li Y., Li X., Liu L. Research on the impact effect of multimodal transport on domestic and international dual circulation: Evidence from China's railway and water transport. *PLoS ONE*. 2025. Vol. 20, Issue 4. Article e0319982. P. 1-18. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319982>
 12. Zhang Z., Jin J., Li S., Han Z., Wu Z., Xu X., Li Y., Peng T. Research review and development trend analysis of grain multimodal transport with a special emphasis upon China. *Agriculture*. 2026. Vol. 16. Article 592. P. 1-35. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture16050592>
 13. Uddin M. M., Huynh N. Routing model for multicommodity freight in an intermodal network under disruptions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2016. No. 2548. P. 71–80. DOI: <https://doi.org/10.3141/2548-09>
 14. Lebid I., Luzhanska N., Lebid I., Mazurenko A., Roi M., Mykhailenko I., Yelnikova L., Tihov O. Construction of a simulation model of the work of a transport and forwarding enterprise in organizing multimodal cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. Vol. 6 No. 3 (132). P. 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.316568>
 15. Jayant A., Azhar M., Singh P. Interpretive structural modelling (ISM) approach: a state of the art literature review. *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*. 2014. Vol. 4, No. 3. P. 15–21.
 16. United Nations Conference on a Convention on International Multimodal Transport : Final Act and Convention on International Multimodal Transport of Goods. – New York : United Nations, 1981. Vol. 1. 16 p.
 17. Про мультимодальні перевезення : Закон України від 17.11.2021 р. № 1887-IX станом на 19 груд. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text> (дата звернення: 10.03.2026).
 18. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Terminology on Combined Transport. New York and Geneva: United Nations, 2000. 13 p.

References

1. Fesovets, O., Strelko, O., Berdnychenko, Y., Isaienko, S., & Pylypchuk, O. (2019). Container transportation by rail transport within the context of Ukraine's European integration. *Proceedings of the 23rd International Scientific Conference "Transport Means 2019"*, 381–386. [in English].
2. Kulova, D., Boyko, M., & Kosyakevych, D. (2026). Assessment of risk factors and improvement of transportation technology for temperature-sensitive cargo in refrigerated containers. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*, 13(44), 230–240. [in English].
3. Lavrukhin, O., Kovalov, A., Shevchenko, V., Kyman, A., & Kulova, D. (2019). Construction of an integrated criterion for estimating the consequences of emergencies involving dangerous goods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(3(98)), 25–31. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.163442>. [in English].
4. Lavrukhin, O., Kovalov, A., & Kulova, D. (2019). Technological and economic estimation of efficiency of a route choice for transportation of dangerous goods. *SHS Web of Conferences*, 67, 1–6. <https://doi.org/10.1051/shsconf/20196702005>. [in English].
5. Aulin, V. V., Kulova, D. O., Hryniv, A. V., & Lysenko, S. V. (2024). Otsiniuvannya ryzykiv neskoronnykh perevezen naftoproduktiv avtomobilnym transportom. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 10(41), Part 2, 205–213. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).2.205-213](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).2.205-213). [in Ukrainian].
6. Kulova, D. O., Mahopets, S. O., & Livitskyi, O. M. (2025). Bezpeka dorozhnogo rukhu v Ukraini: otsiniuvannya ryzykiv i perspektyvy tsyfrovizatsii. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42), Part 2, 298–312. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.278-285](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.278-285). [in Ukrainian].
7. Kulova, D. O. (2024). Zastosuvannya kontseptualnogo pidkhodu ryzyk-menedzhmentu v sferi bezpeky rukhu na transporti. *Tsentralkoukrainskyi naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 10(41), Part 1, 261–269. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10\(41\).1.261-269](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2024.10(41).1.261-269) [in Ukrainian].
8. Aulin, V. V., Kulova, D. O., & Varvarov, V. V. (2025). Vyiavlennia, analiz i prohnouzuvannia parametriv

- ryzyku bezvidmovnoho navantazhennia hotovoi produktsii na transportno-lohistychnomu terminali pidpriemstva. *Tsentrálnoukrajinskyyi naukovyyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42), Part 1, 263–271. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).1.263-271](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).1.263-271) [in Ukrainian].
9. Aulin, V. V., Hrynkiv, A. V., Lysenko, S. V., Holovatyi, A. O., & Holub, D. V. (2021). *Teoretychni i metodolohichni osnovy lohistyky transportnykh i vyrobnychykh system* (V. V. Aulin, Ed.). Kropyvnytskyi: Vydavets Lysenko V. F. [in Ukrainian].
 10. Aulin, V. V., Mytnyk, M. M., Liashuk, O. L., Hevko, I. B., Tson, O. P., Lysenko, S. V., Hud, V. Z., Hrynkiv, A. V., Holub, D. V., & Babii, M. V. (2024). *Formuvannia ta funktsionuvannia lohistychnykh tsentriv v rehionalnykh transportno-lohistychnykh systemakh Ukrainy* (V. V. Aulin & O. L. Liashuk, Eds.). Ternopil: FOP Palianytsia V. A. [in Ukrainian].
 11. Wei, L., Zheng, X., Li, Y., Li, X., & Liu, L. (2025). Research on the impact effect of multimodal transport on domestic and international dual circulation: Evidence from China's railway and water transport. *PLoS ONE*, 20(4), e0319982. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319982>. [in English].
 12. Zhang, Z., Jin, J., Li, S., Han, Z., Wu, Z., Xu, X., Li, Y., & Peng, T. (2026). Research review and development trend analysis of grain multimodal transport with a special emphasis upon China. *Agriculture*, 16, Article 592. <https://doi.org/10.3390/agriculture16050592>. [in English].
 13. Uddin, M. M., & Huynh, N. (2016). Routing model for multicommodity freight in an intermodal network under disruptions. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2548, 71–80. <https://doi.org/10.3141/2548-09>. [in English].
 14. Lebid, I., Luzhanska, N., Lebid, I., Mazurenko, A., Roi, M., Mykhailenko, I., Yelnikova, L., & Tihov, O. (2024). Construction of a simulation model of the work of a transport and forwarding enterprise in organizing multimodal cargo transportation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3 (132)), 6–16. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.316568>. [in English].
 15. Jayant, A., Azhar, M., & Singh, P. (2014). Interpretive structural modelling (ISM) approach: A state of the art literature review. *International Journal of Research in Mechanical Engineering & Technology*, 4(3), 15–21. [in English].
 16. United Nations. (1981). *United Nations Conference on a Convention on International Multimodal Transport: Final act and convention on international multimodal transport of goods* (Vol. 1). United Nations. [in English].
 17. Verkhovna Rada of Ukraine. (2021, November 17). *On multimodal transportation (Law No. 1887-IX)*. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text>. [in Ukrainian].
 18. United Nations Economic Commission for Europe. (2000). *Terminology on combined transport*. United Nations. [in Ukrainian].

Daria Kulova, PhD in transport technology, **Andrii Hrynkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Identification and Analysis of Barriers to the Implementation of Multimodal Technologies in Freight Transport Logistics

The European Commission places significant emphasis on the development of multimodal freight transport in order to reduce environmental impacts, alleviate congestion, and achieve the objectives set out in the Paris Agreement. However, the promotion of multimodality has not yielded the expected results, as a substantial share of freight transport continues to be carried out by a single mode, predominantly road transport. This indicates the presence of barriers to the implementation of multimodal technologies in logistics systems.

The barriers to the development of multimodal transport are analyzed comprehensively using mathematical and structural modeling methods. It is determined that the main barriers are associated with demand, shipment characteristics, infrastructure conditions, insufficient supply, organization of the transport process, and regulatory support. The study is based on the analysis of transport companies operating in Ukraine and the results of surveys of their representatives, which made it possible to identify key groups of barriers. A structured approach to the study of barriers is developed, and a system of questions is designed, which enabled the identification of 15 groups of barriers to the development of multimodal transport. Based on the obtained data, reachability and structural interaction matrices are constructed, allowing the determination of the influence levels of individual barriers on the functioning of logistics chains. It is established that the key barrier is the negative perception of multimodal transport by cargo owners, while significant constraints are also related to the inefficiency of multimodal solutions for short distances, small shipment volumes, and time-sensitive deliveries.

User-oriented measures to support multimodal transport are proposed using a bottom-up approach. It is determined that improving economic efficiency, enhancing information support, and training qualified personnel are key directions for stimulating the development of multimodal transport.

multimodal transport, freight transport, barrier, interpretive structural modeling, transport and logistics system

Одержано (Received) 24.03.2026

Прорецензовано (Reviewed) 27.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 01.04.2026