

Проф. ЛОМОТЬКО Д. В.,

асп. АБОЛОНІН А. І., КОФАНОВ О.В.,

магістранти КАЛИНИЧ М. В., ПРОКОФ'ЄВ А. І.

(Український державний університет залізничного транспорту)

## ПРО МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ЛОГІСТИЧНИХ ЛАНЦЮГАХ



**Анотація.** У статті з метою визначення ефективності надання логістичних послуг у мультимодальних логістичних ланцюгах розглянуто питання моделювання взаємодії залізничного та автомобільного транспорту. Запропонована модель взаємодії автомобільного та залізничного транспорту заснована на ринково-орієнтованому критерії оптимізації процесу функціонування вантажного терміналу, як частини логістичного ланцюга. За результатами моделювання взаємодії визначено верхню межу кількості вагонів (контейнерів), які може опрацювати термінал, а також оптимальну кількість автотранспортних засобів, залучених у логістичний ланцюг. На підставі цих даних сформульовано висновок щодо допустимості конкретного технологічного варіанту взаємодії залізничного та автомобільного транспорту на терміналі, з урахуванням його вигідності для мультимодального оператора.

**Ключові слова:** залізничний транспорт, автотранспорт, контейнерні перевезення, мультимодальні перевезення, ефективність перевезень, логістичний ланцюг.

### Вступ.

Сучасні тренди розвитку залізничних перевезень пов'язано із введенням військового стану в країні, а також змінами обсягів і напрямків транспортування вантажів. Одним із найважливіших напрямів підвищення конкурентоспроможності залізниць є комплексне транспортне обслуговування клієнтури, тобто створення мультимодального логістичного ланцюга із наданням сервісних послуг у «єдине вікно» та з доставкою вантажів «від дверей до дверей». Формування логістичного ланцюга, який забезпечуватиме ці вимоги, передбачає комплексне логістичне обслуговування клієнтури із використанням залізниці та власного або орендованого автотранспорту.

Формування складних логістичних ланцюгів з використанням декількох видів транспорту дедалі активніше здобувають позиції на ринку перевезень, що свідчить про глобальний тренд як в країнах ЄС, так й в Україні, особливо при перевезенні контейнерних, небезпечних та гуманітарних вантажів. Більше того, в умовах повномасштабної збройної агресії проти країни, при частковому блокуванні морських шляхів та інших логістичних викликів, мультимодальні залізнично-автомобільні перевезення виступають важливим засобом підтримки експортно-імпортних операцій та забезпечення економічної стійкості нашої держави. Враховуючи це, дослідження методів та підходів до оптимізації ефективності шляхом моделювання взаємодії

залізничного та автомобільного транспорту у мультимодальних логістичних ланцюгах набуває надзвичайної актуальності як з наукової, так і з практичної точки зору.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вирішення питання удосконалення системи доставки за участю залізниці та автотранспорту має базуватися на формуванні логістичних каналів, що закріплено на нормативному рівні [1]. Одним із ключових аспектів їх ефективного функціонування є використання мультимодальних перевезень [2] та автоматизація цієї діяльності [3]. Теоретичні дослідження та напрямки практичних напрацювань стосовно перевезень вантажів у мультимодальних логістичних ланцюгах спираються на моделюванні та побудові дієвих класичних логістичних каналів від відправника до отримувача, що вимагає формалізації усіх логістичних процесів [4, 5]. Деякі автори пропонують проектування транспортно-логістичної системи з урахуванням ризиків, що виникають при міжнародних мультимодальних перевезеннях [6, 7].

Технологія індустрії 4.0 для логістичних процесів здобула назву Logistics 4.0. Дослідження [8] спрямовані на створення концепту моделі логістичного ланцюга на основі архітектури її побудови на елементах концепції Logistics 4.0, має забезпечувати їх мобільність та функціональність шляхом взаємодії з терміналами збору даних у режимі реального часу на базі сучасних інтерфейсів передачі

©ЛОМОТЬКО Д. В., АБОЛОНІН А. І., КОФАНОВ О.В., КАЛИНИЧ М. В., ПРОКОФ'ЄВ А. І., 2025

даних (Wi-Fi, Bluetooth, RFID, Ethernet, GSM тощо) із можливістю застосування елементів штучного інтелекту [9].

#### Визначення мети та завдання дослідження.

З метою визначення ефективності надання логістичних послуг у мультимодальних логістичних ланцюгах розглянуто деякі питання щодо моделювання взаємодії залізничного та автомобільного транспорту.

#### Основна частина дослідження.

При необхідності доставки вантажу «від двері до двері» значна увага приділяється вибору транспортного засобу (або декількох видів транспорту) з раціональним розподілом за ними відповідних ділянок логістичного ланцюга доставки. При цьому, за експертною оцінкою беруть до уваги наступні фактори, що притаманні кожному виду транспорту, зокрема: вартість перевезення; надійність дотримання графіка доставки; тривалість доставки; здатність доставки вантажу в будь-яку точку тощо. Останньому фактору найбільше повно відповідає автомобільний транспорт. Колісний транспортний засіб може поступатися залізниці в одноразових обсягах перевезеного вантажу, вартості перевезення, однак за маневреністю саме автомобіль не має конкурентів серед інших видів транспорту.

Мультимодальні транспортні оператори є ключовими гравцями на ринку перевезень, беручи на

себе організацію та координацію всього процесу доставки вантажу. Вони виконують широкий спектр функцій, включаючи вибір оптимального маршруту та видів транспорту, укладання договорів з перевізниками, оформлення транспортної документації, страхування вантажу, інформування вантажовласника про хід перевезення, а також управління ризиками та забезпечення безпеки. Існують різні моделі організації мультимодальних перевезень, за яких мультимодальні транспортні оператори можуть виступати в ролі експедиторів, логістичних провайдерів або операторів терміналів, кожна з яких має свої переваги та недоліки. Важливу роль у роботі мультимодальних операторів відіграють інформаційні технології, що забезпечують обмін даними між усіма учасниками транспортного процесу, відстеження вантажу в режимі реального часу та ефективне управління ланцюгами поставок. Діяльність мультимодальних операторів регулюється як законом України [10], так й міжнародним законодавством, спрямованим на забезпечення безпеки перевезень та захист інтересів вантажовласників. Аналіз деяких найбільших логістичних компаній котрі виступають в ролі мультимодальних транспортних операторів в Україні (таблиця 1), дає зрозуміти що більша частина компаній є дочірніми підприємствами великих міжнародних компаній.

Таблиця 1 – Найбільші логістичні компанії України що надають послуги мультимодальних перевезень

| №  | Назва                  | Характеристика                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | ZAMMLER GROUP          | Компанії групи ZAMMLER надають послуги у сфері автомобільних, морських, авіаперевезень, митно-брокерського оформлення, а також – повний спектр складських послуг. До групи ZAMMLER входить 5 компаній, які представлені 17 офісами. Компанії розташовані в Європі та Азії. Компанія співпрацює з логістичними партнерами по всьому світу. ZAMMLER надає всі види логістичних послуг, застосовуючи єдиний стандарт якості та технологій обслуговування клієнтів.                                                                                                                 |
| 2. | Raben Ukraine          | Міжнародна логістична компанія з представництвом в Україні. Логістичний оператор, який пропонує комплексні послуги: контрактної логістики, автомобільних перевезень (міжнародні та внутрішні), фреш логістики, митного терміналу, FTL та інтермодального транспорту, морських та авіаперевезень.                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 3. | DB Schenker в Україні  | Одна з провідних світових логістичних компаній, яка також активно працює в Україні. Міжнародна логістика DB Schenker поєднує у собі комплексні рішення транспортування та обробки вантажів (міжнародне відправлення вантажів автомобільним транспортом FTL/LTL, вантажоперевезення з температурним режимом та ADR, DB SCHENKER System-перевезення збірних вантажів Україна-Європа-Україна, авіаперевезення вантажів, міжнародні морські перевезення вантажів FCL, DB SCHENKER  LCL - контейнерні перевезення збірних вантажів LCL, перевезення по Україні, складська логістика) |
| 4. | Kuehne+Nagel в Україні | Міжнародна транспортно-логістична компанія зі штаб-квартирою в місті Шенделег (Швейцарія), також надає послуги перевезень в Україні. Компанія надає послуги з морських, повітряних та авто вантажоперевезень, складської, контрактної та проектної логістики з акцентом на надання IT-рішень, митно-брокерський супровід.                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 5. | Cargo Support          | Українська компанія заснована у 2017 році, що спеціалізується на міжнародних вантажних перевезеннях, включаючи мультимодальні схеми.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

Укрупнену схему для побудови моделі взаємодії залізничного та автомобільного транспорту при перевезенні вантажів у контейнерах наведено на рис. 1.

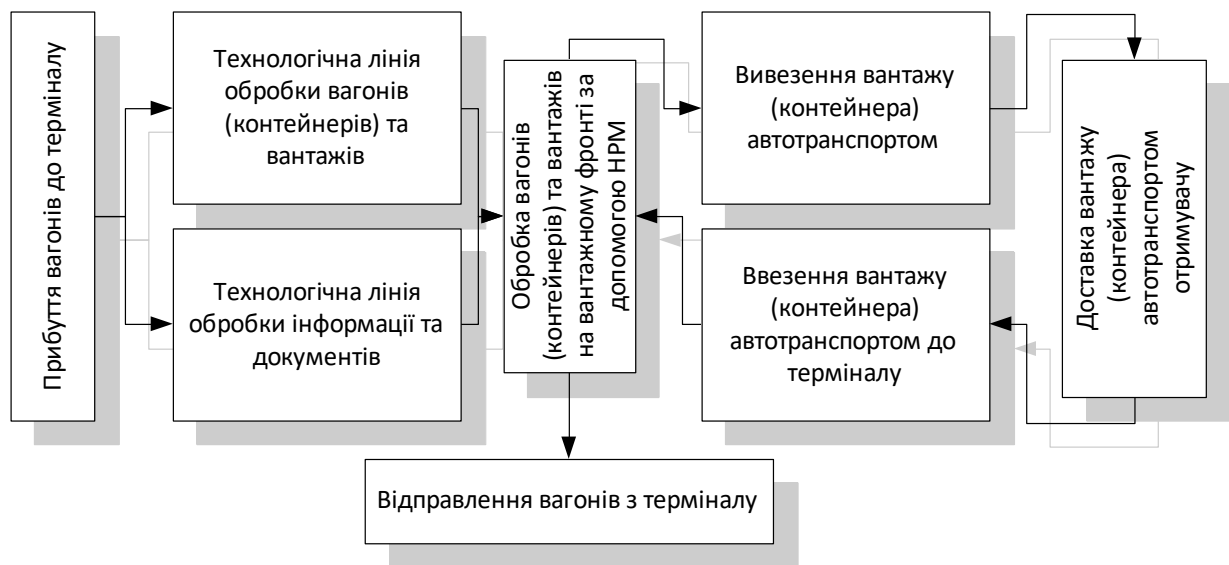


Рис. 1 – Структурно-логічна схема моделі взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на логістичному терміналі при доставці вантажів

Завданням моделювання взаємодії автомобільного та залізничного транспорту на терміналі, як частині мультимодального логістичного ланцюга - максимізація різниці витрат вантажовласника  $V_v$  при виконанні доставки за

$$K = \begin{cases} \text{ArgMax} [V_v(V_{\text{зал}}, V_{\text{авт}}, V_{\text{конт}}, V_{\text{оч}}, V_{\text{нрм}}) - O_v(O_{\text{зал}}, O_{\text{авт}}, O_{\text{конт}}, O_{\text{оч}}, O_{\text{нрм}})] \\ O_{\text{пр}} > 0 \end{cases} \quad (1)$$

де  $V_{\text{зал}}, O_{\text{зал}}$  - витрати, що пов'язано із доставкою вантажу (контейнеру) залізничною частиною логістичного ланцюга у вантажовласника та у мультимодального оператора, грн./рік;

$V_{\text{авт}}, O_{\text{авт}}$  - витрати, необхідні на придбання або оренду автотранспорту при уні- та мультимодальному перевезенні, грн./рік;

$V_{\text{конт}}, O_{\text{конт}}$  - витрати вантажовласника або оператора на обробку контейнерів (якщо вантаж перевозиться у контейнерах), грн./рік;

$V_{\text{оч}}, O_{\text{оч}}$  - економічні втрати, пов'язані з очікуванням автомобілів навантаження, вивантаження та інших операцій на терміналі у вантажовласника або оператора, грн./рік;

$V_{\text{нрм}}, O_{\text{нрм}}$  - витрати вантажовласника або оператора, пов'язані з виконанням навантажувальних робіт на терміналі, грн./рік.

При цьому

$$V_{\text{зал}}, O_{\text{зал}} = 365 \sum_{i=1}^{N_n} n_i C_{\text{зі}} + t_{\text{звг}} i C_{\text{вт}}$$

де  $n_i$  - кількість вагонів, що задіяно у перевезенні вантажу  $i$ -го вантажовласника;

унімодальною схемою своїми силами та оператора мультимодального перевезення  $O_v$  у процесі надання їм послуги із доставки вантажів. При цьому для оператора має забезпечуватись прибуток  $O_{\text{пр}}$  для різних початкових умов, тобто  $O_v < V_v$ . Це укрупнено представлено як

$C_{\text{зі}}$  - залізничний тариф на перевезенні вантажу  $i$ -го вантажовласника, грн./ваг. Може бути диференційованим в залежності від обсягу перевезень та наявності у перевізника скидок типу «сконто» як для вантажовласника, так й для оператора, грн./ваг;

$t_{\text{звг}} i$  - тривалість знаходження вагону на терміналі з урахуванням очікування, год

$C_{\text{вт}}$  - ставка вагоногодина простою, грн.;

$N_v$  - кількість вантажовласників, що надали для перевезення вантаж мультимодальному оператору.

$$V_{\text{оч}}, O_{\text{оч}} = 365 m_{\text{авт}} (c_{\text{авт}} + c_{\text{інф}}) t_{\text{оч}}$$

$$V_{\text{авт}}, O_{\text{авт}} = 365 m_{\text{авт}} c_{\text{авт}} t_{\text{авт}}$$

де  $m_{\text{авт}}$  - кількість автомобілів, які здійснюють перевезення вантажу (контейнерів);

$c_{\text{авт}}$  - вартість години роботи автомобіля, грн./год.;

$t_{\text{авт}}$  - розрахункова тривалість зайнятості автомобіля протягом доби, год. У разі власного автотранспорту  $t_{\text{авт}} = 24$  год; при орендованому

автотранспорті  $t_{\text{авт}}$  визначається тривалістю доставки до кінцевого споживача автотранспортом).

$$B_{\text{конт}, O_{\text{конт}}} = 365 * C_{\text{конт}} \sum_{i=1}^{N_0} n_i a_{\text{конт} i} t_{\text{конт} i},$$

де  $C_{\text{конт}}$  – ставка контейнеродини простою, грн.;  
 $a_{\text{конт} i}$  – кількість контейнерів у вагоні для  $i$ -го вантажовласника;

$$B_{\text{крп}, O_{\text{крп}}} = 365 \left( 2 * m_{\text{авт}} c_{\text{нвв}} + 2 * \sum_{i=1}^{N_0} n_i c_{\text{крв}} \right),$$

де  $C_{\text{нвв}}$  – ставка збору за навантаження або розвантаження автомобілю, грн.;

$C_{\text{крв}}$  – ставка збору за навантаження або розвантаження вагону, грн.

З урахуванням схеми, наведеної на рис. 1, розглянемо в комплексі модель взаємодії залізничного та автомобільного транспорту у мультимодальних логістичних ланцюгах взаємодії залізничного та автомобільного видів транспорту при завезенні-вивезенні вантажів з урахуванням (2)-(6). При цьому приймаємо низку припущень:

- з кожним вагоном, що поданий на термінал, виконується дві вантажні операції;
- з кожним автомобілем, що прибув на термінал, виконується дві вантажні операції;
- всі автомобілі, вагони (контейнери) вважаються придатним для перевезення вантажу у технічному та комерційному відношенні;

$t_{\text{конт} i}$  – тривалість знаходження контейнера на терміналі, год.

де  $t_{\text{оч}}$  – тривалість очікування автомобілем вантажних операцій на терміналі в період зайнятості фронту навантаження-вивантаження, технологічних перерв, неготовності вагонів (контейнерів) тощо, год.;

$C_{\text{інф}}$  – ставка погодинної оплати за користування інфраструктурою (терміналом), грн.

(6)

– інформація й документи на вантаж обробляються за допомогою автоматизованої системою й не є обмежуючим фактором часу

Як полігон досліджень моделі взаємодії залізничного та автомобільного транспорту був обраний умовний логістичний ланцюг із декількох підприємств харківського залізничного вузла. Оцінку середньодобової кількості вагонів, що очікують виконання вантажних операцій на терміналі при різних варіантах обслуговування дослідного логістичного ланцюга наведено на рис. 2. Встановлено, що кількість вагонів, які очікують на терміналі вантажних операцій, не перевищує середнє добове надходження вагонів, тобто не переходить на наступну добу навіть при задіяні 3, 2 та 1 автівок мультимодального оператора у автомобільній частині логістичного ланцюгу.

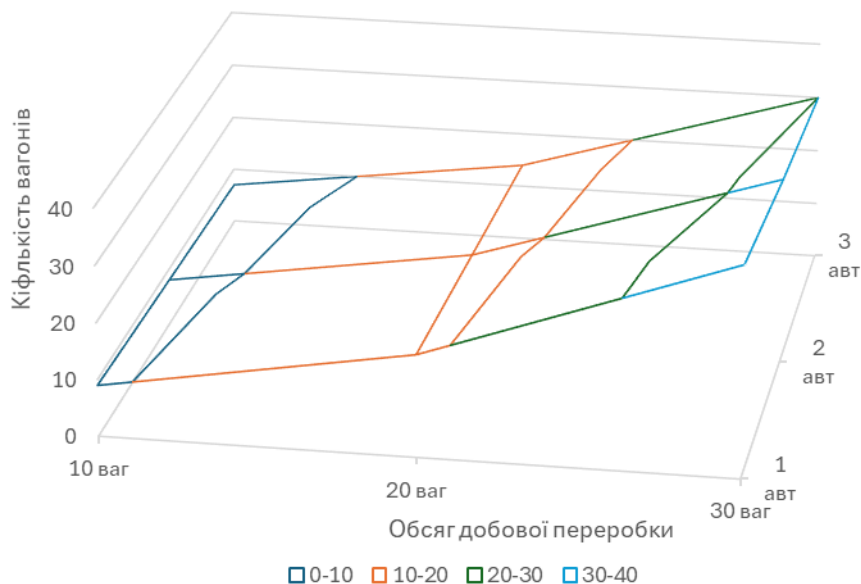


Рис. 2. Оцінка середньодобової кількості вагонів, що очікують виконання вантажних операцій на терміналі при різних варіантах обслуговування дослідного логістичного ланцюга

Оцінка середньодобової тривалості обробки автомобільного транспорту на терміналі при різних варіантах обслуговування (1,2,3 автомобілями операцій) у процесі взаємодії залізничного та мультимодального оператора) наведено на рис. 3.

Встановлено, що тривалість обробки вагонів складає від 153 да 1621 хв/добу. Останній технологічний варіант із використанням 1 автівки не може бути

реалізованим протягом доби, тому його із застосування рекомендовано виключити.

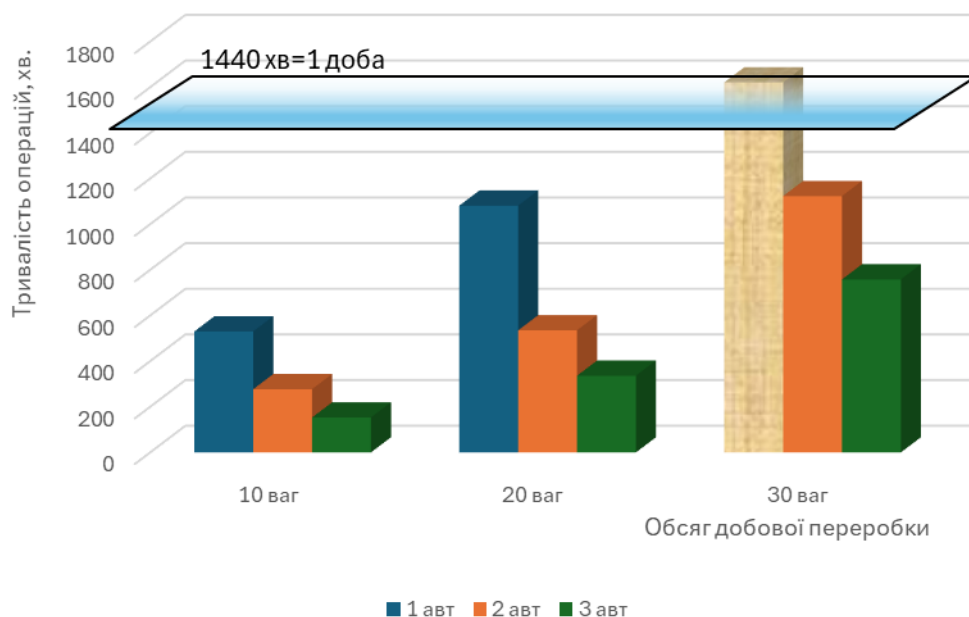


Рис. 3. Оцінка середньодобової тривалості обробки вагонів у процесі взаємодії залізничного та автомобільного транспорту на терміналі при різних варіантах обслуговування

#### Висновки.

Таким чином, запропонована модель взаємодії автомобільного та залізничного транспорту заснована на ринково-орієнтованому критерії оптимізації процесу функціонування вантажного терміналу, як частини логістичного ланцюга.

В результаті моделювання взаємодії встановлено максимальну кількість вагонів (контейнерів), що можуть бути оброблені терміналом, та раціональну кількість автотранспортних засобів, що задіяно у логістичному ланцюзі. На підставі цього зроблено висновок про допустимість того чи іншого технологічного варіанту взаємодії залізничного та автомобільного транспорту на терміналі з урахуванням вигідності варіантів для мультимодального оператора.

Це дозволяє зробити висновок про фінансову привабливість вантажовласника технологічних варіантів формування мультимодального логістичного ланцюга.

У перспективі динаміку змін тривалості знаходження автомобіля, вагона (контейнера) та їх очікування можна дослідити та представити у вигляді відповідних функцій розподілу, що перетворить модель на стохастичну й підвищить якість отриманих результатів.

#### Список використаних джерел

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках. Постанова КМУ

України №1550 від 27 грудня 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#n22>.

2. Кирпа Г.Н. Организация контрейлерных перевозок в Украине. Дніпропетровськ: Арт-Пресс, 1998. – 132 с.
3. Арсененко Д. В., Ломотко Д. В., Ковальова О. В. Розроблення оптимальної технології перевезення зернових вантажів з урахуванням сучасних тенденцій галузі. Збірник наукових праць УкрДУЗТ, 2024, вип. 208. С.215-222 DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.208.2024.308751>.
4. Kwateng, K.O., Tetteh, F.K., Asare, N. and Manu, D. (2022), "Can intercluster coordination mediate the relationship between supply chain flexibility and humanitarian supply chain performance?", Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/JHLSCM-09-2021-0086>
5. Розвиток інфраструктури мультимодальних перевезень в Україні у контексті зміни транспортно-логістичних маршрутів в умовах війни: наукова доповідь. – Львів: ІРД НАН України, 2023. – 72 с. ISBN 978-617-14-0079-5.
6. О कोरोков А.М., Бех П.В., Лашков О.В. Організація міжнародних мультимодальних перевезень з урахуванням ризиків. Технічні науки та технології. – 2025. – № 1(1). – С. 41–47. – DOI: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2025.1.1/41>

7. Ломотько Д.В., Ільчишин В.М., Афанасова О.Ф., Нестеренко О.О. Удосконалення технології функціонування зернових логістичних ланцюгів за участю залізничного транспорту. Залізничний транспорт України. – 2025. - № 2. – С. 4-11. DOI: 10.34029/2311-4061-2025-155-2-04-11
8. Woschank, M. and Dallasega, P. (2021), “The impact of logistics 4.0 on performance in manufacturing companies: a pilot study”, *Procedia Manufacturing*, Vol. 55, pp. 487-491, doi: 10.1016/j.promfg.2021.10.066.
9. Lomotko, D., Ohar, O., Kozodoi, D., Barbashyn, V., Lomotko, M. (2023). Efficiency of “Green” Logistics Technologies in Multimodal Transportation of Dangerous Goods. In: Arsenyeva, O. And etc. *Smart Technologies in Urban Engineering*. STUE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 536. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-031-20141-7\_74
10. Про мультимодальні перевезення. Закон України № 1887-IX від 17.11.2021р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1887-20#Text>

Prof. Lomotko D. V., postgraduate student Abolonin A. I., Kofanov O.V., graduate students Kalynych M. V., Prokofiev A. I.

#### **MODELING THE INTERACTION OF RAIL AND ROAD TRANSPORT IN MULTIMODAL LOGISTICS CHAINS**

**Abstract.** In order to determine the effectiveness of providing logistics services in multimodal logistics chains, the article considers the issue of modeling the interaction of rail and road transport. The proposed model of interaction of road and rail transport is based on a market-oriented criterion for optimizing the process of functioning of a cargo terminal as part of a logistics chain. According to the results of interaction modeling, the upper limit of the number of wagons (containers) that the terminal can process, as well as the optimal number of vehicles involved in the logistics chain, was determined. Based on these data, a conclusion was formulated regarding the admissibility of a specific technological option for the interaction of rail and road transport at the terminal, taking into account its profitability for the multimodal operator. Thus, it is possible to assess the financial attractiveness of the options for forming a multimodal logistics chain from the point of view of the cargo owner.

**Keywords:** rail transport, road transport, container transport, multimodal transport, transport efficiency, logistics chain