

---

---

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (J7)**

---

---

УДК 339.5:656.2:004

**ЦИФРОВЕ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ МІЖНАРОДНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ  
ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ**

Кандидати техн. наук І. В. Берестов, О. С. Пестременко-Скрипка,  
магістрант О. О. Федорчук

**DIGITAL IMPROVEMENT OF THE INTERNATIONAL RAIL FREIGHT  
TRANSPORTATION SYSTEM**

PhD (Tech.) I. Berestov, PhD (Tech.) O. Pestremenko-Skryпка,  
master O. Fedorchuk

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.216.2026.362787>



***Анотація.** У статті узагальнено результати кваліфікаційного дослідження, присвяченого удосконаленню системи міжнародних залізничних вантажоперевезень засобами цифрових технологій. Обґрунтовано, що головні втрати часу в міжнародному залізничному сполученні формуються на митно-прикордонних і термінальних стиках через ручні операції, дублювання даних, недостатню інтеграцію інформаційних систем і нерівномірне завантаження контрольних ресурсів. На основі аналізу стану цифровізації встановлено розрив між українською практикою та європейськими підходами: узагальнений індекс цифровізації митного контролю і документообігу становить 53,6 % для України проти 89,6 % для ЄС. Визначено пріоритетні напрями цифрового удосконалення: попереднє інформування та аналіз ризиків до прибуття вантажу, безпаперовий документообіг, використання електронних перевізних документів e-CIM/SMGS, API/EDI-інтеграцію між митницею, залізницею та бізнесом, цифрове слотування на переходах і процесну аналітику. Розроблено математичну модель мінімізації середнього часу митного оформлення вантажів за каналами контролю з урахуванням ресурсних і безпекових обмежень. Техніко-економічне оцінювання показало, що впровадження запропонованих заходів забезпечує річний економічний ефект 8 441,9 тис. грн за консервативним сценарієм і 28 139,7 тис. грн за базовим сценарієм, а строк окупності настає протягом першого року експлуатації.*

***Ключові слова:** цифровізація, митний контроль, електронний документообіг, оптимізація часу оформлення.*

***Abstract.** The paper presents the main results of a qualification research project devoted to the digital improvement of the international rail freight transportation system. The study substantiates that the most significant time losses in cross-border rail logistics are generated at customs, border and terminal interfaces due to manual processing, repeated data entry, fragmented information exchange, documentary inconsistencies, and uneven utilization of control resources. The current state of customs digitalization and document flow was assessed by comparing Ukrainian*

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

© Берестов І. В., Пестременко-Скрипка О. С., Федорчук О. О., 2026.

*practice with the European approach. The aggregated digitalization index equals 53.6 % for Ukraine and 89.6 % for the EU, which confirms the existence of a substantial implementation gap and the need for organizational and technological modernization. The priority areas for improvement are identified as pre-arrival information and risk analysis, paperless document circulation, the use of electronic consignment notes including e-CIM/SMGS solutions, API/EDI integration among customs authorities, railway operators and businesses, digital slot planning at border crossings and terminals, and process analytics for operational control. A mathematical optimization model is proposed in which the average customs clearance time is minimized as a weighted combination of processing times across control channels, subject to resource, throughput and safety constraints. The model allows one to formalize the effect of digital technologies on the service process and to justify a rational distribution of freight flows between inspection channels. The practical significance of the study is strengthened by a technical and economic assessment of implementation scenarios. The estimated annual economic effect amounts to UAH 8,441.9 thousand in the conservative scenario and UAH 28,139.7 thousand in the baseline scenario, while the project payback is achieved within the first year of operation. The results confirm that digital transformation should be treated not as a local IT upgrade but as an integrated mechanism for increasing border throughput, reducing wagon idle time, improving delivery predictability and supporting the interoperability of Ukrainian rail freight with European digital and customs procedures.*

**Keywords:** digitalization, customs control, paperless document flow, clearance time optimization.

**Вступ.** Міжнародні залізничні вантажоперевезення є критично важливою складовою експортної, транзитної та логістичної інфраструктури України. Умови євроінтеграції, зміна географії перевезень і зростання вимог щодо прозорості процедур зумовлюють необхідність переходу від фрагментарної автоматизації до комплексної цифрової трансформації. За даними АТ «Укрзалізниця», обсяг перевезених вантажів зріс із 148,4 млн т у 2023 р. до 174,9 млн т у 2024 р. [1]. Разом із тим основними «вузькими місцями» залишаються митно-прикордонні стики та недостатня інтеграція інформаційних систем учасників перевезення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематику цифровізації транспортно-логістичних і митних процесів розглядали багато дослідників. І. В. Берестов, О. С. Пестременко-Скрипка та Г. І. Шелехань обґрунтовують цифровізацію митного контролю на залізничному транспорті як засіб скорочення затримок [2, 11]. В. О. Задой і С. А. Костюк підкреслюють необхідність технологічної модернізації галузі [3].

В. І. Яровий доводить перспективність застосування цифрових платформ у контейнерних перевезеннях [4]. Зарубіжні дослідники М. Antonowicz і J. Majewski розглядають цифрову трансформацію як чинник конкурентоспроможності залізничного транспорту [6, 7]. Нормативну рамку цифрових змін у ЄС формує Регламент (ЄС) 2020/1056 про електронну інформацію у вантажних перевезеннях (eFTI) [8-10]. Попри наявні дослідження, недостатньо розробленими залишаються питання поєднання організаційних цифрових заходів із формалізованою моделлю оптимізації часу оформлення та кількісним оцінюванням економічного ефекту.

**Визначення мети та завдань дослідження.** Метою статті є розроблення науково-практичних положень про цифрове удосконалення системи міжнародних залізничних вантажоперевезень на основі аналізу «вузьких місць» митно-прикордонного та документарного супроводу, побудова моделі оптимізації часу митного оформлення і техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень (таблиця).

## Основні «вузькі місця» і цифрові важелі їх усунення

Проблема	Причина	Наслідок	Цифрове рішення
Неповна інтеграція IT-систем	Відсутність єдиних форматів даних	Дублювання введення, затримки	API/EDI-інтеграція, eFTI
Помилки в документах	Людський чинник, слабка валідація	Корегування, повторні перевірки	Автоматична валідація, шаблони
Тривале оформлення на стиках	Ручна перевірка, нерівномірне навантаження	Простій вагонів, збільшення циклу	Pre-arrival інформування, слотування
Розрив із процедурами ЄС	Несинхронність правил і форматів	Ускладнена інтероперабельність	NCTS, e-CIM/SMGS, ICS2

**Основна частина дослідження.**

Найбільші затримки міжнародних залізничних перевезень формуються через інформаційно-процедурні розриви: ручну обробку документів, дублювання введення даних, потребу в паперових копіях і

несинхронізовану взаємодію між митницею, перевізником, терміналами та бізнесом. Загальний час міжнародного залізничного перевезення визначають як суму компонентів:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{підг}} + T_{\text{відпр}} + T_{\text{марш}} + T_{\text{переход}} + T_{\text{перевант}} + T_{\text{митн}} + T_{\text{дост}}, \quad (1)$$

де  $T_{\text{підг}}$  — час підготовки документів і планування, год;

$T_{\text{відпр}}$  — час формування поїзда/відправлення, год;

$T_{\text{марш}}$  — час руху ділянками, год;

$T_{\text{переход}}$  — час очікування та проходження прикордонної інфраструктури, год;

$T_{\text{перевант}}$  — час перевантаження/зміни візків, год;

$T_{\text{митн}}$  — час митного та суміжних видів контролю, год;

$T_{\text{дост}}$  — внутрішнє доставлення до/від терміналу, год.

Цифрові технології впливають насамперед на  $T_{\text{підг}}$  і  $T_{\text{митн}}$ , а опосередковано – на  $T_{\text{переход}}$  і  $T_{\text{перевант}}$  через покращення планування.

Для кількісного оцінювання рівня цифровізації застосовано модель зрілості (maturity model) зі шкалою 0–5, де 0 — відсутність цифрових механізмів, 5 — повністю безпаперовий і автоматизований

процес із міжнародною сумісністю. Узагальнений індекс цифровізації  $D$  (%) обчислюють як зважену суму нормованих оцінок за компонентами:

$$D = 100 \cdot \sum_{i=1}^m (w_i \cdot \frac{s_i}{5}), \quad (2)$$

де  $s_i$  — оцінка зрілості  $i$ -го компонента (0...5);

$w_i$  — вага компонента ( $\sum w_i = 1$ ).

Застосовано зважений підхід із підвищеними коефіцієнтами для е-декларування та е-транзиту ( $w_1 = w_2 = 0,17$ ), решта п'ять компонент — по  $w = 0,132$ , що відображає їхній безпосередній вплив на час проходження кордону.

Для України ( $s_i = \{4, 4, 2, 2, 2, 2, 2\}$ ):

$$D_{\text{Україна}} = 100 \cdot (0,17 \cdot 0,8 + 0,17 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,132 \cdot 0,4) = 53,6 \%$$

Для ЄС ( $s_i = \{5, 5, 5, 4, 4, 4, 4\}$ ):

$$D_{EC} = 100 \cdot (0,17 \cdot 1 + 0,17 \cdot 1 + 0,132 \cdot 1 + 4 \cdot 0,132 \cdot 0,8) \approx 89,6 \%$$

Результати оцінювання за шкалою зрілості 0–5 і розрахунок інтегрального індексу цифровізації наведено на рис. 1 і 2.

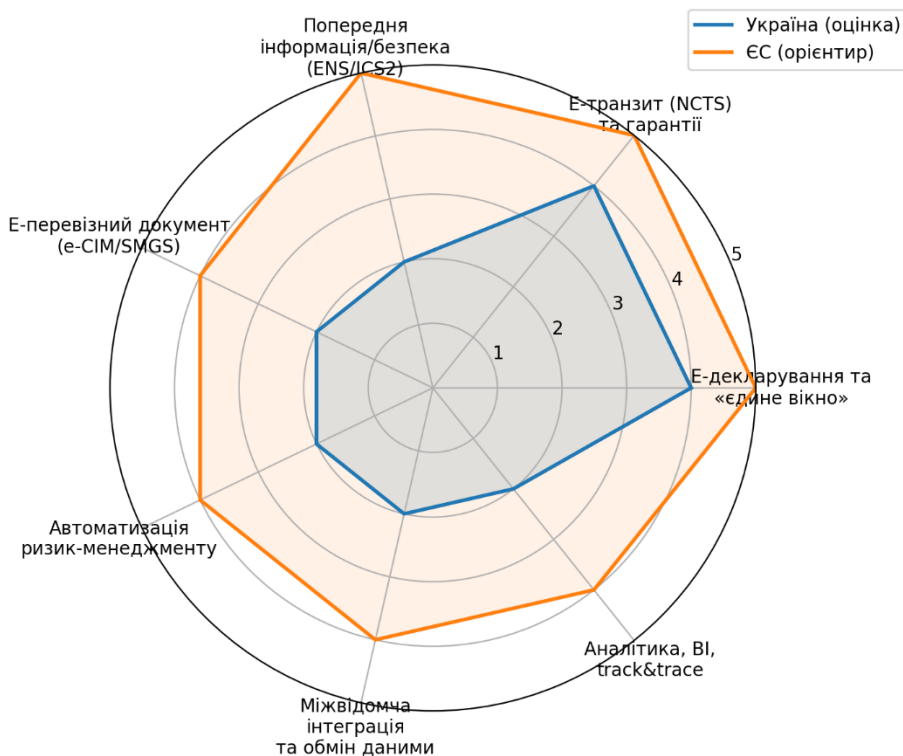


Рис. 1. Порівняння зрілості цифровізації (шкала 0–5): Україна та ЄС

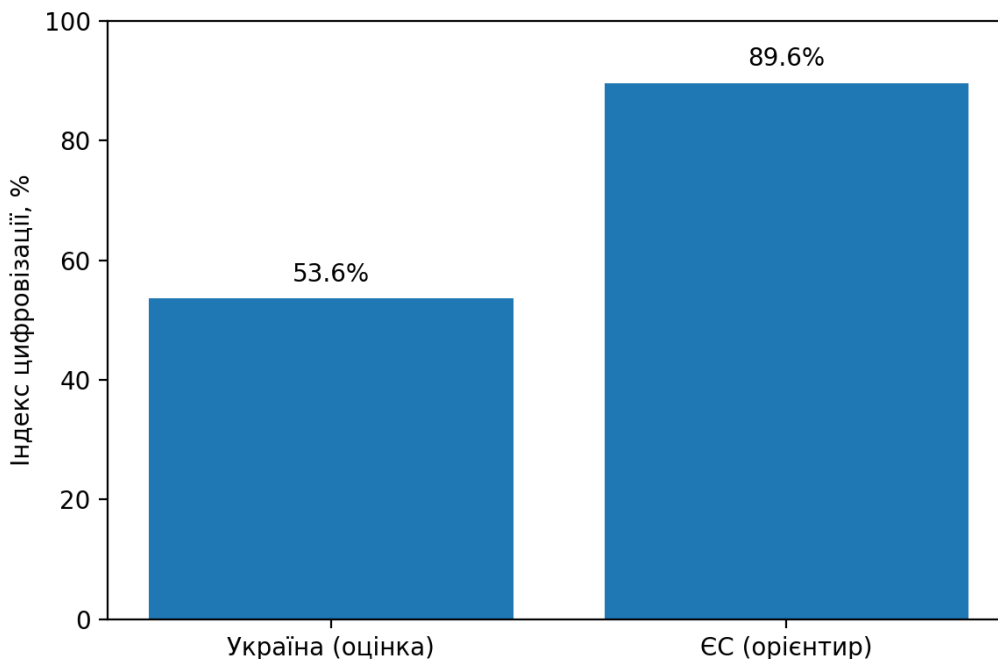


Рис. 2. Узагальнений індекс цифровізації митного контролю і документообігу

Розрив у 36 % пояснюють тим, що Україна має сформовані базові е-сервіси, але «вузькими місцями» залишаються міжвідомчий обмін даними, повна інтеграція із суміжними системами та поглиблена автоматизація ризик-менеджменту, що прямо корелює з наявними затримками на кордоні.

Розглянемо потік міжнародних залізничних відправлень із розподілом за трьома каналами контролю: зелений ( $i = 1$ ) — автоматизований/спрощений контроль; жовтий ( $i = 2$ ) — документальна перевірка; червоний ( $i = 3$ ) — документальна перевірка та фізичний огляд. Змінні рішення:  $x_i \in [0, 1]$  — частка відправлень, спрямована до каналу  $i$ .

Цільова функція — мінімізація середнього часу митного оформлення:

$$\bar{T} = \sum_{i=1}^3 x_i t_i \rightarrow \min, \quad (3)$$

де  $\bar{T}$  — середній час оформлення одного відправлення, год;

$x_i$  — частка потоку в каналі  $i$ ;

$t_i$  — середній час оформлення в каналі  $i$ , год.

Цільова функція у явному вигляді

$$\bar{T} = x_1 t_1 + x_2 t_2 + x_3 t_3 \rightarrow \min. \quad (4)$$

Система обмежень

$$\begin{cases} x_1 + x_2 + x_3 = 1 \\ x_i \geq 0, i = 1, 2, 3 \\ x_i \leq \hat{x}_i, j = 1, 2, 3 \\ x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 \geq P_{min} \end{cases}.$$

Баланс потоку:  $x_1 + x_2 + x_3 = 1, x_i \geq 0, i = 1, 2, 3.$

Ресурсні обмеження:  $x_i \leq \hat{a}_i$  (пропускна спроможність каналу).

Умова безпеки:  $x_1 p_1 + x_2 p_2 + x_3 p_3 \geq P_{min},$

де  $p_i$  — показник ефективності контролю в каналі  $i$  ( $p_3 > p_2 > p_1$ );

$P_{min}$  — мінімально допустимий рівень безпеки.

Після виключення  $x_3$  через баланс задача зведена до пошуку точки  $(x_1, x_2)$  у площині.

Для прикладного розрахунку прийнято:  $t_1 = 0,5$  год,  $t_2 = 2,0$  год,  $t_3 = 6,0$  год;  $p_1 = 0,02, p_2 = 0,10, p_3 = 0,30; P_{min} = 0,08;$  обмеження пропускної спроможності:  $x_2 \leq 0,50, x_3 \leq 0,35.$

Умова безпеки після підстановки набуває вигляду

$$0,28x_1 + 0,20x_2 \leq 0,22. \quad (5)$$

Цільова функція в площині  $(x_1, x_2)$

$$T_{сер} = 6 - 5,5x_1 - 4x_2 \rightarrow \min. \quad (6)$$

Оскільки формула (6) є лінійною функцією, оптимум досягається у вершині допустимого багатокутника. Графічне рішення оптимізаційної моделі мінімізації середнього часу митного оформлення наведено на рис. 3.

Оптимальна точка розташована на перетині ресурсної межі  $x_2 = 0,50$  та умови безпеки (5), тобто рішення є «найшвидшим» без порушення безпекових і ресурсних вимог. Цифрові технології впливають на параметри моделі: зменшують середній час  $t_i$  у каналах і змінюють структуру розподілу вантажопотоку між прискореними і поглибленими процедурами.

**Висновки.** Встановлено, що основними чинниками неефективності міжнародних залізничних вантажоперевезень є ручні процедури, розірваність інформаційного обміну, помилки в документах і нерівномірне завантаження контрольних ресурсів на митно-прикордонних і термінальних стиках.

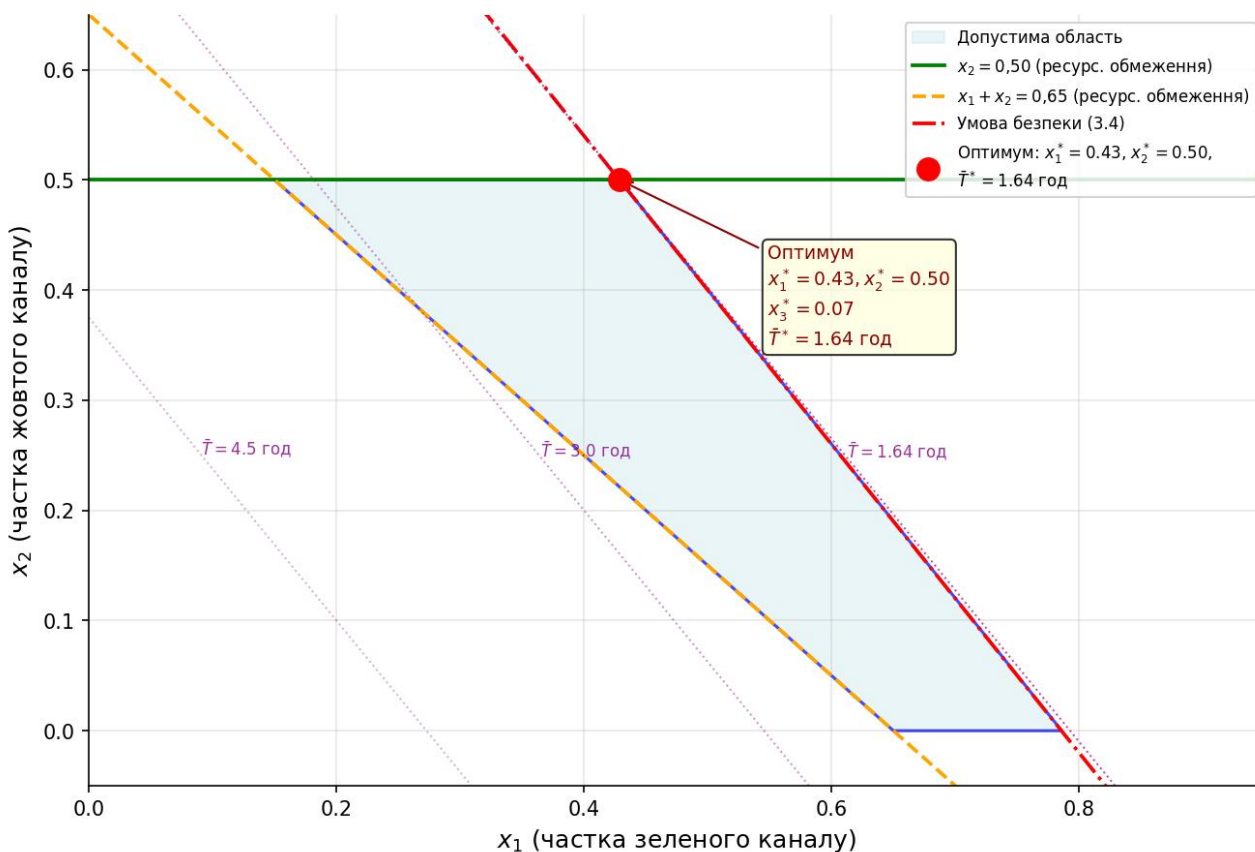


Рис. 3. Графічне рішення оптимізаційної моделі мінімізації середнього часу митного оформлення

Оцінювання рівня цифровізації показало розрив між Україною ( $D = 53,6\%$ ) і ЄС ( $D = 89,6\%$ ). Доведено, що цифрове удосконалення має спиратися на комплекс взаємопов'язаних рішень: pre-arrival інформування, ризик-аналіз, безпаперовий документообіг, e-CIM/SMGS, API/EDI-інтеграцію, NCTS-сумісність і процесну аналітику.

Розроблена оптимізаційна модель допомагає мінімізувати середній час митного оформлення вантажів (до 1,64 год

проти 4–8 год фактичних) за умови виконання ресурсних і безпекових обмежень. Оптимальний розподіл потоку:  $x_1^* = 0,429$  (зелений канал),  $x_2^* = 0,500$  (жовтий),  $x_3^* = 0,071$  (червоний).

Перспективи подальших досліджень пов'язані з поглибленням моделі з урахуванням стохастичного характеру прибуття вагонопотоків і адаптацією рішень до міждержавної інтеграбельності в межах європейського транспортного простору.

### Список використаних джерел

1. Статистичні дані по АТ «Укрзалізниця» за 2023–2024 роки. (2025). Міністерство розвитку громад та територій України. URL: <https://mindev.gov.ua>
2. Берестов, І. В., Пестременко-Скрипка, О. С., Шелехань, Г. І. (2022). Цифровізація процесів митного контролю та оформлення вантажів на залізничному транспорті.

Центральноукраїнський науковий вісник, 5 (36), ч. II, 291–298. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.291-298](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.291-298)

3. Задой, В. О., Костюк, С. А. (2024). Сучасні виклики та перспективи розвитку залізничних вантажних перевезень України. *Агросвіт*, 18, 84–91. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.18.84>

4. Яровий, В. І. (2024). Теоретичні засади цифровізації контейнерних перевезень. *Економіка та суспільство*, 66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-136>

5. Shelekhan, H., Mkrtychyan, O., & Afonina, A. (2023). Research of the state of customs clearance of cargo at the Ukrainian border transfer points. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 3, 67–72. DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v28i3.290138>

6. Antonowicz, M., & Majewski, J. (2023). Digital Transformation in Railway Transport. *Extending Boundaries: The Impact of the Digital World on Consumers and Marketing*, 139–158.

7. Caballini, C., Sacone, S., & Siri, S. (2023). Fast Corridors: innovative customs processes and technology to increase supply chain competitiveness. *Case Studies on Transport Policy*, 13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100909>

8. Regulation (EU) 2020/1056 on electronic freight transport information (eFTI). (2020). EUR-Lex. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1056/oj/eng>

9. Import Control System 2 (ICS2). European Commission, Directorate-General for Taxation and Customs Union. URL: [https://taxation-customs.ec.europa.eu/customs/customs-security/import-control-system-2\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/customs/customs-security/import-control-system-2_en)

10. World Customs Organization. (2021). *Customs Risk Management Compendium*, 1.

11. Берестов, І. В., Пестременко-Скрипка, О. С. (2024). Удосконалення процедур митного контролю при перевезенні залізничним транспортом в умовах цифровізації. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*, 2 (157). 45–51. DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v29i2.307665>

### References

1. *Statystychni dani po AT «Ukrzaliznytsia» za 2023–2024 roky [Statistical data on JSC Ukrainian Railways for 2023–2024]*. (2025). Ministry for Communities and Territories Development of Ukraine. Retrieved from: <https://mindev.gov.ua> [in Ukrainian].

2. Berestov, I. V., Pestremenko-Skrypka, O. S. & Shelekhan, H. I. (2022). Tsyfrovizatsiia protsesiv mytnoho kontroliu ta oformlennia vantazhiv na zaliznychnomu transporti [Digitalization of customs control and cargo clearance processes in railway transport]. *Central Ukrainian Scientific Bulletin*, 5 (36), Part II, 291–298. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.291-298](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.291-298) [in Ukrainian].

3. Zadoi, V. O. & Kostiuk, S. A. (2024). Suchasni vyklyky ta perspektyvy rozvytku zaliznychnykh vantazhnykh perevezen Ukrainy [Modern challenges and prospects for the development of rail freight transportation in Ukraine]. *Agrosvit*. 18. 84–91. DOI: <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.18.84> [in Ukrainian].

4. Yarovyi, V. I. (2024). Teoretychni zasady tsyfrovizatsii konteinyrnykh perevezen [Theoretical foundations of digitalization of container transportation]. *Economy and Society*, 66. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-66-136> [in Ukrainian].

5. Shelekhan, H., Mkrtychyan, O. & Afonina, A. (2023). Research of the state of customs clearance of cargo at the Ukrainian border transfer points. *Information and control systems at railway transport*, 3, 67–72 DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v28i3.290138> [in English].

6. Antonowicz, M. & Majewski, J. (2023). Digital Transformation in Railway Transport. *Extending Boundaries: The Impact of the Digital World on Consumers and Marketing*, 139–158 [in English].
  7. Caballini, C., Sacone, S. & Siri, S. (2023). Fast Corridors: innovative customs processes and technology to increase supply chain competitiveness. *Case Studies on Transport Policy*, 13 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2023.100909> [in English].
  8. European Parliament and Council of the European Union. (2020). Regulation (EU) 2020/1056 on electronic freight transport information (eFTI). EUR-Lex. Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2020/1056/oj/eng> [in English].
  9. European Commission, Directorate-General for Taxation and Customs Union. Import Control System 2 (ICS2). Retrieved from: [https://taxation-customs.ec.europa.eu/customs/customs-security/import-control-system-2\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/customs/customs-security/import-control-system-2_en) [in English].
  10. World Customs Organization. (2021). *Customs Risk Management Compendium*, 1 [in English].
  11. Berestov, I.V., & Pestremenko-Skrypka, O.S. (2024). Udoskonalennia protsedur mytnoho kontroliu pry perevezenni zaliznychnym transportom v umovakh tsyfrovizatsii [Improvement of customs control procedures in railway transportation under digitalization conditions]. *Information and control systems at railway transport*. 2 (157). 45–51 DOI: <https://doi.org/10.18664/iksz.v29i2.307665> [in Ukrainian].
- 

Берестов Ігор В'ячеславович, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-1209-6885. E-mail: [i.berestov@i.ua](mailto:i.berestov@i.ua).

Пестременко-Скрипка Оксана Сергіївна, кандидат технічних наук, доцент кафедри залізничних станцій та вузлів, Український державний університет залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0001-5335-5399. Тел.: +38(066)6-410-140. E-mail: [ksju2910@gmail.com](mailto:ksju2910@gmail.com).

Федорчук Олексій Олександрович, магістрант, Український державний університет залізничного транспорту. E-mail: [ksju2910@gmail.com](mailto:ksju2910@gmail.com).

Berestov Ihor, PhD (Tech). Associate Professor, department of railway stations and units, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-1209-6885. E-mail: [i.berestov@i.ua](mailto:i.berestov@i.ua).

Pestremenko-Skrypka Oksana, PhD (Tech). Associate Professor, department of railway stations and units, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-5335-5399. Tel.: +38(066)6-410-140. E-mail: [ksju2910@gmail.com](mailto:ksju2910@gmail.com).

Fedorchuk Oleksiy, master, Ukrainian State University of Railway Transport. E-mail: [ksju2910@gmail.com](mailto:ksju2910@gmail.com).

Дата надходження статті 06.03.2026 р.

Дата прийняття статті до друку 12.05.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті 29.05.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY