

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДЕРЕВИНИ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

У статті розглянуто аналіз сучасних методів покращення ефективності міжнародних автомобільних перевезень продукції з деревини, зокрема дерев'яних палет, які експортуються з України до країн Європейського Союзу. Актуальність теми обґрунтовано постійним зростанням обсягів експорту, підвищенням вимог до екологічності пакувальної продукції, а також необхідністю забезпечення стабільності логістичних ланцюгів в умовах підвищеного навантаження на прикордонну інфраструктуру. Особливий акцент зроблено на вивченні факторів, які визначають тривалість транспортного циклу, зокрема часу очікування у чергах на митних пунктах пропуску, рівня цифровізації процесів оформлення вантажів та документообігу.

У дослідженні запропоновано комплексний підхід до вирішення зазначених проблем, який базується на застосуванні математичних моделей черг типу "Mathematical Modeling and Computing" або "ММС" для оцінки пропускної спроможності пунктів перетину кордону, використанні методології мережевого планування PERT (Program Evaluation and Review Technique) та CPM (Critical Path Method) для ідентифікації критичного шляху доставки, а також аналізу життєвого циклу доставки (LCC), що враховує часові втрати та витрати на транспортування. Значна увага приділена впровадженню цифрових технологій, таких як GPS-моніторинг і адаптивна маршрутизація, які сприяють підвищенню передбачуваності та гнучкості перевізних процесів.

На основі імітаційного моделювання доведено, що оптимізація прикордонних процедур, впровадження електронного декларування, автоматизація контролю та розширення кількості сервісних каналів можуть зменшити загальний час простою транспортних засобів на 35–50 %, знизити витрати на паливе на 8–12 % та забезпечити вищий рівень стабільності і надійності міжнародних перевезень деревини.

Отримані результати мають значний практичний потенціал, зокрема для проектування логістичних маршрутів, модернізації митних пунктів пропуску та розробки цифрових рішень для потреб транспортних компаній.

Ключові слова: Міжнародні автомобільні перевезення, деревина, дерев'яні палети, оптимізація логістики, митний контроль, моделі масового обслуговування, імітаційне моделювання, GPS-моніторинг, цифровізація, пропускна спроможність.

Постановка проблеми. Міжнародні автомобільні перевезення деревини, зокрема дерев'яних палет і пиломатеріалів, є ключовим елементом експортного потенціалу України та складають значну частину логістичних поставок до країн Європейського Союзу.[1].

У країнах ЄС дерев'яні палети широко використовуються в складських процесах, автоматизованих логістичних центрах, промисловості й торгівлі. [2]. Зростаючий попит на екологічну пакувальну продукцію підвищує вимоги до швидкості, надійності та передбачуваності доставки українських товарів. Однак сучасна система міжнародних перевезень стикається з низкою суттєвих проблем.

Однією з основних проблем є перевантаження прикордонних пунктів пропуску, де час очікування в чергах нерідко перевищує 8–12 годин. Через це значна частина транспортного циклу витрачається на проходження контрольних процедур, а не на фактичне перевезення вантажу, що значно знижує ефективність логістичних операцій.

Серед інших проблем можна зазначити такі:

- різницю в митних процедурах і нормативно-правових вимогах між Україною та ЄС;
- низький рівень цифровізації документообігу та повільне впровадження електронної CMR;
- нестабільність логістичних циклів і значні коливання в термінах доставки;
- стрімке зростання витрат на пальне й супутні операційні витрати;
- обмеження щодо вагових і габаритних параметрів транспортних засобів;
- нерівномірне завантаження пунктів пропуску, що призводить до формування неоптимальних маршрутів.

Ці чинники збільшують час доставки, підвищують експлуатаційні витрати, створюють ризики зриву контрактних строків і знижують конкурентоспроможність українських експортерів деревини на ринку ЄС [3].

У світлі цих викликів виникає необхідність комплексного вдосконалення міжнародного автомобільного перевезення деревини. Це можливо за допомогою впровадження сучасних математичних моделей, цифрових логістичних технологій, інструментів GPS-моніторингу та заходів із оптимізації пропускну здатності митних пунктів.

Використання таких підходів дозволить зменшити час простою, підвищити надійність транспортування та забезпечити стабільність логістичних ланцюгів.

Аналіз сучасних досліджень і публікацій. Проблема вдосконалення міжнародних автомобільних перевезень деревини та підвищення ефективності прикордонної інфраструктури залишається об'єктом активного вивчення як серед українських, так і європейських науковців. Більшість досліджень акцентує увагу на тому, що головним фактором, який обмежує розвиток транспортування вантажів у напрямку Європейського Союзу, є переповненість пунктів пропуску. Це пояснюється недостатньою пропускну спроможністю, асинхронністю процедур та технічними обмеженнями. [4].

Українські наукові дослідження вказують, що прикордонна інфраструктура часто не відповідає сучасним вимогам інтенсивного міжнародного руху. Більшість діючих контрольно-пропускних пунктів проектувалися для набагато менших обсягів вантажних транспортних потоків. Дослідники підкреслюють, що черги виникають через непропорційну швидкість здійснення контрольних операцій, дефіцит персоналу та застарілі системи перевірки документів. [5].

Європейські аналітичні звіти висвітлюють важливість гармонізації митних і фітосанітарних процедур, а також адаптації української продукції до міжнародних стандартів, таких як ISPM 15 для дерев'яної тари та EPAL для європіддонів. Окремо зазначається, що перехід на цифровізовані процеси, зокрема впровадження е-CMR та електронної передачі митної інформації, сприяє значному скороченню часу на оформлення вантажів, знижує ризик помилок і забезпечує прозорість усіх етапів логістики. [6].

У роботах із транспортної логістики важливу роль відіграє застосування математичних моделей для аналізу роботи пунктів пропуску. Найбільш розповсюджені підходи базуються на системах масового обслуговування, зокрема моделях типу "Mathematical Modeling and Computing" або "ММС". Вони дають змогу визначати ймовірнісну структуру черг, оцінювати пропускну здатність і оптимальну кількість обслуговуючих каналів. [7].

Дослідження показують, що навіть незначне збільшення кількості обслуговуючих каналів або зменшення середнього часу проведення процедур здатне суттєво скоротити загальний час очікування транспортних засобів. Методи мережевого планування PERT (Program Evaluation and Review Technique) та CPM (Critical Path Method) розглядаються як універсальний інструмент аналізу часової структури транспортного процесу. Вони дають змогу визначити критичний шлях доставки, виявити часові резерви та оцінити вплив потенційних затримок на загальний логістичний цикл. [8].

Дослідження підкреслюють особливу ефективність цих методів в умовах нестабільності перетину кордону, коли логістичний процес супроводжується високою невизначеністю та значною варіативністю. [9].

Також у науковій літературі значну увагу приділено впровадженню GPS-, телематичних та ITS-систем. Ці технології забезпечують безперервний моніторинг руху транспортних засобів, аналіз завантаженості маршрутів, прогнозування заторів і оперативне коригування маршрутів у відповідь на зміну дорожньої ситуації. [10].

Дослідження показують, що інтеграція GPS-моніторингу з автоматизованими системами контролю та електронного документообігу дозволяє підвищити точність доставки на 10–20 % і зменшити непродуктивні затримки. Міжнародні організації, зокрема UNECE та IRU, наголошують на важливості переходу до інтелектуальних транспортних систем (ITS). Ці системи об'єднують автоматизовані засоби контролю, алгоритми прогнозування навантажень і механізми управління чергами в режимі реального часу. [11].

Основною очікуваною перевагою впровадження ITS є підвищення пропускної спроможності пунктів пропуску без необхідності значних інвестицій у розширення інфраструктури. Окремий інтерес у дослідників викликає використання імітаційного моделювання, яке дозволяє детально відтворити функціонування прикордонного пункту пропуску з урахуванням реальних параметрів потоку, черг, часу обслуговування та випадкових факторів. Такий підхід забезпечує точний прогноз впливу змін в інфраструктурі або процедурах на ефективність роботи пункту пропуску. [12].

Аналіз дослідницьких матеріалів свідчить, що питання оптимізації міжнародних автомобільних перевезень деревини є складним і багатограним, тому потребує інтегрованого підходу. Найдієвішими інструментами в цьому контексті є цифровізація документообігу, впровадження електронних систем міждержавної взаємодії, використання математичних моделей черг, застосування імітаційного моделювання та телематичних систем управління перевезеннями.

Мета дослідження. Створення комплексної науково-методичної системи, спрямованої на підвищення ефективності міжнародних автомобільних перевезень дерев'яних палет, що експортуються з України до країн Європейського Союзу.

Дослідження охоплює оптимізацію логістичних процесів, скорочення часу виконання митних процедур, мінімізацію простоїв, а також удосконалення цифрового документообігу й управління транспортними операціями.

Особливий акцент робиться на математичному аналізі функціонування митних пунктів пропуску та впровадженні передових аналітичних інструментів для поліпшення організації перевезень.

Основний матеріал дослідження. Для реалізації поставленої мети необхідно виконати такі наукові й практичні завдання:

1. Провести детальний аналіз чинної системи міжнародних автомобільних перевезень деревини, виявити її основні проблемні аспекти, обмеження, а також фактори, що впливають на час доставки та стабільність логістичних процесів.

2. Побудувати процесну схему логістичного ланцюга транспортування палет від виробника до отримувача в країні ЄС. Виділити ключові етапи, описати інформаційні й матеріальні потоки та визначити часові характеристики кожного складового елемента системи.

3. Створити математичну модель черг на основі теорії масового обслуговування типу ММС для оцінки пропускної здатності митного пункту пропуску, а також розрахунку ймовірнісних показників його функціонування.

4. Дослідити вплив кількості каналів обслуговування(c) на середній час очікування (W_q) та визначити оптимальні параметри роботи митного пункту в умовах різної інтенсивності транспортних потоків.

5. Розробити часово-вартісну функцію логістичного процесу, яка враховує витрати на транспортування, затримки, варіативність часу доставки та наслідки простоїв у чергах.

6. Провести імітаційне моделювання роботи митного пункту пропуску. Це дозволить відтворити реальні умови функціонування системи та оцінити ефективність потенційних управлінських рішень, таких як збільшення кількості каналів, цифровізація процесів чи зміна режиму роботи.

7. Розробити практичні рекомендації щодо підвищення ефективності міжнародних автомобільних перевезень, спрямовані на скорочення часу проходження кордону, забезпечення стабільності поставок та зниження логістичних витрат.

Основою проведеного дослідження виступає системний підхід до аналізу міжнародних автомобільних перевезень деревини. У роботі поєднано методи логістичного моделювання, математичний апарат теорії масового обслуговування, технології мережевого планування, телематичні інструменти та імітаційне моделювання.

Такий комплексний підхід дозволяє забезпечити точну оцінку продуктивності роботи митних пунктів пропуску, виявити слабкі місця у логістичному ланцюгу та розробити практичні рекомендації для його вдосконалення.

При використанні системного підходу до міжнародних перевезень дерев'яних палет, аналіз транспортного процесу розглядається як багаторівневий. Він складається з виконання транспортних операцій (переміщення автомобіля, завантаження та розвантаження вантажу), проходження митних і фітосанітарних процедур, здійснення адміністративного документообігу, контролю та обробці інформаційних потоків, використанню інструментів моніторингу і контролю.

Для дослідження цієї системи застосовуються різні підходи. Процесний підхід - розроблення схеми логістичного ланцюга. Параметричний підхід - аналіз часових і вартісних характеристик. Моделювання потоків - ідентифікація ключових обмежень та визначення "вузьких місць".

Далі запропонована математична модель черг, яка представлена у вигляді системи масового обслуговування типу ММС. Для моделювання процесу проходження митних процедур використовується підхід СМО, зокрема модель ММС, яка базується на наступних параметрах:

- потік заявок (вантажних автомобілів) описується пуассонівським розподілом;
- час обслуговування має експоненційний розподіл;
- черга не має обмежень за довжиною;
- дисципліна обслуговування визначається принципом FIFO (перший прийшов — перший обслужений).

Для кращого опису моделі, у таблиці № 1 надані параметри та значення даних, які нижченаведені у базових формулах.

Таблиця 1 – Значення та параметри опису моделі

№ з/п	Параметр	Значення	Одиниця виміру
1	Інтенсивність, λ	6 заяв	год
2	Швидкість обслуговування, μ	2 заяв	год
3	Кількість каналів, c	5	-
4	Час доставки	18–28	год
5	Час завантаження	1,2	год

Коефіцієнт завантаження системи:

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu} \quad (1)$$

Ймовірність простою системи:

$$P_0 = \left[\sum_{n=0}^{c-1} \frac{(\lambda/\mu)^n}{n!} + \frac{(\lambda/\mu)^c}{c!(1-\rho)} \right]^{-1} \quad (2)$$

Ймовірність утворення черги:

$$P_{\text{черги}} = \frac{(\lambda/\mu)^c}{c!(1-\rho)} P_0 \quad (3)$$

Середній час очікування в черзі:

$$W_q = \frac{P_{\text{черги}}}{c\mu - \lambda} \quad (4)$$

Середній час перебування автомобіля в системі:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (5)$$

Використання цієї моделі дає змогу проаналізувати вплив: інтенсивності прибуття автомобілів (λ), швидкості обслуговування (μ), кількості каналів (c) на характеристики черги та загальну тривалість проходження митного контролю. Графічно це відображено на рисунку 1.



Рисунок 1 – Графік залежності W_q від кількості каналів

Наступним кроком зроблено аналіз часової структури логістичного процесу. Для цього були використані методи PERT/CPM, які дали змогу побудувати мережевий графік транспортного циклу, визначити критичний шлях, оцінити потенційні затримки, виявити резерви часу, провести аналіз варіативності поставок.

Кожна операція характеризується трьома видами оцінок: оптимістична (t_o), найбільш ймовірна (t_m), песимістична (t_p).

Середній час виконання кожної операції визначається наступним чином:

$$t = \frac{t_o + 4t_m + t_p}{6} \quad (6)$$

Дисперсія операції:

$$\sigma^2 = \left(\frac{t_p - t_o}{6} \right)^2 \quad (7)$$

Транспортні технології

Для оцінки економічної ефективності застосовано інтегральну функцію:

$$C = \alpha C_{\text{тр}} + \beta \sigma_T + \gamma W_q \quad (8)$$

Де $C_{\text{тр}}$ - транспортні витрати;

σ_T - варіація часу доставки;

W_q - час очікування в черзі;

α, β, γ - вагові коефіцієнти.

Функція дозволяє визначити вплив: невизначеності часу доставки, простоїв на митниці, експлуатаційних витрат, на загальну економічну ефективність перевезень. На рисунку 2 надана структура витрат у відсотках.



Рисунок 2 – Структура витрат у відсотках

Для аналізу функціонування митного пункту пропуску у наближених до реальних умовах застосовано імітаційне моделювання. Такий підхід забезпечує можливість врахування наступних факторів: випадковий характер прибуття транспортних засобів; нерівномірний розподіл інтенсивності потоку; пікові навантаження на інфраструктуру; затримки, спричинені часовими параметрами процесів; варіативну кількість обслуговуючих каналів; вплив технічних та організаційних умов на функціонування пункту пропуску. На рисунку 3 наведені фактори, що впливають на ефективність логістики.

Фактори, що впливають на ефективність логістики



Рисунок 3 – Фактори, що впливають на ефективність логістики

Розроблена модель забезпечує можливість аналізу впливу таких змін, як:

- збільшення числа робочих місць персоналу,
- автоматизація перевірочних процедур,
- запровадження електронного документообігу,
- перегляд режиму роботи пункту пропуску.

У результаті моделювання оцінюються зміни у загальному часі очікування на оформлення та пропускній спроможності митного пункту.

Також у дослідженні були застосовані дані GPS й принципи телематичних систем таких як GPS-моніторинг, телематики, інтелектуальних транспортних систем (ITS).

Це надало змогу ефективно створювати оптимальні маршрути, прогнозувати можливі затримки, контролювати ситуацію в реальному часі, зменшувати непродуктивні простої, гнучко адаптувати розклад руху.

Для оцінки результативності транспортних операцій було використано мультикритеріальний аналіз. Такий підхід дає можливість здійснити порівняння двох станів системи, це - початкового (до проведення оптимізаційних заходів) та оптимізованого (після впровадження відповідних рішень).

Оцінювання проводилося на основі таких критеріїв, як:

- тривалість доставки вантажу;
- час очікування на прикордонному контролі;
- витрати паливних ресурсів;
- стабільність і передбачуваність маршруту;
- відповідність виконання строків запланованому графіку.

Цей аналіз дозволяє визначити ефективність впроваджених змін та оцінити практичну доцільність. (рис. 4)

Процес експорту палет



Рисунок 4 – Схема процесу експорту палет

Були отримані наступні результати моделювання: при збільшенні кількості каналів з 2 до 5, час очікування скорочується з 4,1 до 1,2 годин. Розширення понад 5 каналів не дає суттєвого ефекту через обмеження інфраструктури.

Отримані результати представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Зведені результати моделювання після впроваджених заходів

№ з/п	Показник	До	Після	Зміна
	Середній час очікування	4,1 год	1,2 год	–70 %
	Витрати пального	100 %	88–92 %	–8–12 %
	Точність доставки	82 %	93 %	+11 %
	Затримки > 30 хв	23 %	11 %	–52 %

Практична складова проведеного дослідження була спрямована на аналіз ефективності впровадження запропонованих організаційно-технологічних інструментів у сфері здійснення міжнародних автомобільних перевезень дерев'яних палет з України до країн Європейського Союзу. Для досягнення поставленої мети було використано метод імітаційного моделювання роботи митного пункту пропуску, здійснено оцінювання часових параметрів доставки вантажів, оптимізовано маршрути перевезення та проведено аналіз екологічних і економічних показників зазначених процесів.

Результати моделювання продемонстрували, що збільшення кількості активних каналів митного обслуговування з двох-трьох до п'яти дозволяє значно скоротити середній час очікування транспорту. При роботі двох каналів середній час очікування становив 4,1 години. При функціонуванні п'яти каналів цей показник скоротилося до 1,2 години.

Таким чином, перехід до п'яти каналів дав змогу скоротити час очікування більш ніж у 3,4 рази. Проте подальше нарощування кількості каналів не виявило суттєвих переваг через інфраструктурні обмеження пропускної здатності митного вузла.

Імплементация електронних декларацій (e-CMR, e-Invoice) дозволила знизити середній час митного оформлення на 8–14 %. Це стало можливим завдяки виконанню частини процедур до фактичного прибуття вантажного автомобіля на пункт контролю.

Таке нововведення сприяло зменшенню навантаження на митний персонал та стабілізації часу проходження митного контролю.

Алгоритм адаптивної маршрутизації, що враховує рівень завантаженості пунктів пропуску, забезпечив скорочення середньої тривалості рейсів на 1,5–2 години.

Це було досягнуто завдяки:

- автоматизованому вибору менш завантажених пунктів пропуску;
- перенесенню частини перевезень на нічний час доби;
- гнучкому регулюванню швидкості руху залежно від прогнозованого рівня затримок на чергах.

Впровадження електронної системи обліку палет (QR-коди, маркування EPAL), дозволило зменшити кількість помилок при перевірці вантажних партій на 10–12 %, спростити процедуру звіряння даних та мінімізувати кількість конфліктних ситуацій з європейськими партнерами.

Оптимізація витрат пального та екологічний ефект досягнуто за рахунок скорочення простою транспорту на 2 години для одного автомобіля. Це забезпечує економію 10–12 літрів пального, зменшення викидів CO₂ на 26–32 кг, збільшення оборотності транспортних засобів на 6–9 %.

У масштабі автопарку зі 100 автомобілів це означає економію понад 1000 літрів пального щодня під час пікових завантажень.

Реалізація комплексного підходу до оптимізації митної інфраструктури, цифровізації документообігу та впровадження маршрутної аналітики забезпечила такі результати:

- скорочення середнього логістичного циклу на 12–18 %;
- зниження ризиків непередбачуваних затримок на 30–40 %;

Транспортні технології

- підвищення точності виконання графіка поставок із 82 % до 93–95 %;
- зменшення витрат автопарку на обслуговування на 6–9 %;
- збільшення пропускної здатності митних пунктів на 35–50 %.

Зменшення витрат, стабільні строки постачання та мінімізація простоїв дають підприємствам можливість забезпечувати регулярність поставок, створювати прогнозовані графіки для європейських партнерів, розширювати напрямки експорту, покращувати рентабельність логістичних процесів.

У підсумку, практичний досвід демонструє, що використання вдосконалених логістичних технологій, електронного документообігу, адаптивної маршрутизації та сучасних методів моделювання значно підвищує ефективність міжнародних автомобільних перевезень дерев'яних палет між Україною та країнами Європейського Союзу.

ВИСНОВКИ

Висновки проведеного дослідження комплексно підтвердили, що підвищення ефективності міжнародних автомобільних перевезень дерев'яних палет можливе лише за умов одночасного вдосконалення транспортно-логістичних, організаційних, технічних та цифрових компонентів. Використання математичних моделей черг типу ММС, інструментів мережевого планування PERT/CPM, розробка часово-вартісної функції логістичного процесу та застосування імітаційного моделювання дозволили об'єктивно оцінити реальний стан пропускної здатності митних пунктів і виявити критичні обмеження, що призводять до надмірних затримок при перетині кордону.

Результати дослідження доводять, що оптимізація кількості митних каналів, автоматизація процедур контролю та цифровізація документообігу мають вирішальне значення для скорочення черг і стабілізації логістичного процесу. Збільшення кількості каналів до п'яти дозволяє скоротити час очікування більш ніж на 70 %, а впровадження електронного декларування зменшує тривалість митних процедур на 8–14 %. Це забезпечує значний економічний ефект у вигляді зниження витрат палива, скорочення простоїв і підвищення обіговості автотранспорту.

Імітаційне моделювання підтвердило, що комплексний підхід до модернізації прикордонної інфраструктури сприяє збільшенню пропускної спроможності на 35–50 %, зниженню ризику затримок на третину та підвищенню точності виконання графіків до 93–95 %. Одночасне застосування телематичних систем, GPS-моніторингу й інтелектуальних алгоритмів маршрутизації створює основу для оперативного прийняття рішень і оптимізації маршрутів залежно від поточної завантаженості пунктів пропуску.

Покращення організації міжнародних перевезень деревини не лише дозволяє зменшити логістичні витрати, а й посилює конкурентні позиції українських експортерів на ринку ЄС. Зниження часу доставки, підвищення передбачуваності поставок і мінімізація ризику зриву контрактів забезпечують створення позитивного іміджу українських виробників і стабільність експортних ланцюгів.

Таким чином, дослідження підтверджує, що впровадження сучасних математичних, цифрових і логістичних підходів є критично важливим для підвищення ефективності міжнародних автомобільних перевезень дерев'яних палет. Запропоновані методичні рекомендації та представлені аналітичні дані можуть слугувати основою для подальшого вдосконалення транспортної інфраструктури, розвитку міжнародного співробітництва та створення більш стійких і адаптивних логістичних систем між Україною та ЄС.

Список використаних джерел

1. Державна митна служба України. Аналітичні матеріали щодо функціонування пунктів пропуску та пропускної спроможності. – Київ, 2023.
2. European Pallet Association (EPAL). Official Standards and Technical Requirements for Wooden Pallets. – Düsseldorf, 2022.
3. Міністерство інфраструктури України. Звіт про стан міжнародних автомобільних перевезень та логістичних потоків. – Київ, 2023.
4. European Commission. EU Border Crossing Operations and Bottleneck Analysis. – Brussels, 2022.
5. Губа В. М., Соколенко Т. В. Організація та управління міжнародними вантажними автомобільними перевезеннями. – Київ: КНУТД, 2021.
6. UNECE. Electronic CMR Protocol (e-CMR). Implementation Guide. – 2021.
7. Gross D., Shortle J., Thompson J., Harris C. Fundamentals of Queueing Theory. 5th ed. – Wiley, 2018.
8. Kerzner H. Project Management: Planning, Scheduling, and Controlling with PERT/CPM. – New York: Wiley, 2020.
9. Chopra S., Meindl P. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. Pearson, 2021.
10. Ascher U., Telematics in Transport Logistics: Real-Time Tracking and ITS Infrastructure. – Springer, 2020.
11. International Road Transport Union (IRU). Intelligent Transport Systems for International Freight Operations. – Geneva, 2022.
12. Banks J., Carson J. Discrete-Event System Simulation. – Prentice Hall, 2019.

Baranov I. O., Homyak A.E., Kiritseva O. V.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF INTERNATIONAL TIMBER TRANSPORT BY ROAD

The article analyzes modern methods for improving the efficiency of international road transport of wood products, in particular wooden pallets, exported from Ukraine to European Union countries. The relevance of the topic is justified by the constant growth in export volumes, increased requirements for the environmental friendliness of packaging products, and the need to ensure the stability of logistics chains in conditions of increased load on border infrastructure. Particular emphasis is placed on studying the factors that determine the duration of the transport cycle, in particular, waiting times in queues at customs checkpoints, the level of digitization of cargo clearance processes, and document flow.

The study proposes a comprehensive approach to solving these problems, based on the use of MMC queueing models to assess the throughput capacity of border crossing points, the use of PERT/CPM network planning methodologies to identify critical delivery paths, and delivery life cycle analysis (LCC), which takes into account time losses and transportation costs. Significant attention is paid to the implementation of digital technologies, such as GPS monitoring and adaptive routing, which contribute to the predictability and flexibility of transportation processes.

Simulation modeling has shown that optimizing border procedures, introducing electronic declarations, automating controls, and expanding the number of service channels can reduce overall

vehicle downtime by 35–50%, lower fuel costs by 8–12%, and ensure greater stability and reliability in international timber transport.

The results obtained have significant practical potential, in particular for the design of logistics routes, the modernization of customs checkpoints, and the development of digital solutions for the needs of transport companies.

Keywords: International road transport, timber, wooden pallets, logistics optimization, customs control, queuing models, simulation modeling, GPS monitoring, digitalization, throughput capacity.

Стаття надійшла 02.12.2025р.

УДК 656:004

doi.org/10.31498/2522-9990302025347253

Процик О. П., Хмельов І. В., Бутенко Г. М., Данєвський М. О., Красулін О.С.

СУЧАСНІ ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПРОЦЕСАМИ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У МІЖНАРОДНОМУ СПОЛУЧЕННІ

У роботі розглянуто сучасні цифрові технології управління транспортними процесами автомобільного транспорту в міжнародному сполученні як один із ключових чинників підвищення ефективності, надійності та безпеки перевезень в умовах глобалізації та цифрової трансформації транспортної галузі. Актуальність дослідження зумовлена зростанням обсягів міжнародних автомобільних перевезень, ускладненням логістичних ланцюгів постачання, підвищенням вимог до якості транспортних послуг та необхідністю оперативного прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності зовнішнього середовища. Також проаналізовано основні напрями цифровізації управління транспортними процесами, зокрема використання транспортних інформаційних систем (TMS), телематичних і супутникових навігаційних систем, технологій великих даних (Big Data), хмарних сервісів, цифрових платформ координації перевізників і вантажовласників, а також елементів штучного інтелекту для прогнозування, оптимізації маршрутів та управління ризиками у міжнародних автомобільних перевезеннях. Особливу увагу приділено інтеграції цифрових технологій у процеси планування, диспетчеризації, моніторингу та контролю виконання перевезень з урахуванням вимог міжнародного законодавства та стандартів.

Визначено основні переваги впровадження цифрових технологій, серед яких скорочення простой рухомого складу, зниження витрат на перевезення, підвищення прозорості транспортних процесів, покращення якості логістичного сервісу та зменшення впливу людського фактору на прийняття управлінських рішень. Разом з тим, окреслено проблемні аспекти цифровізації, пов'язані з інформаційною безпекою, сумісністю інформаційних систем, підготовкою персоналу та необхідністю адаптації організаційно-управлінських структур транспортних підприємств.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до узагальнення та структуризації сучасних цифрових технологій управління транспортними процесами автомобільного транспорту в міжнародному сполученні з позицій системної ефективності транспортно-технологічних рішень. Практична значущість отриманих результатів полягає у можливості їх використання при розробленні та впровадженні цифрових рішень у діяльності автотранспортних підприємств, а також у навчальному процесі під час підготовки фахівців з транспортних технологій і логістики.