

Український державний університет залізничного транспорту

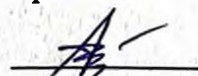
Кафедра залізничних станцій та вузлів

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ
ПЕРЕВЕЗЕНЬ В СУЧАСНИХ УМОВАХ**

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи

УТОМП.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д24
спеціальності 275 / 275.02 (роботу
виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)

 Владислав АНТОНЕНКО

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Ганна ШАПОВАЛ

Рецензент: професор, канд. техн. наук

Віктор ЗАПАРА

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 17 слайдів презентації, 98 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 33 рисунків, 18 таблиць, 30 літературних джерел.

Ключові слова: МІЖНАРОДНІ ЗАЛІЗНИЧНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ПРИКОРДОННА СТАНЦІЯ, МІЖНАРОДНИЙ ВАГОНОПОТІК, ЗАЛІЗНИЧНИЙ ПЕРЕХІД, ШИРИНА КОЛІЇ, ТЕОРІЯ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Об'єкт дослідження - процес організації міжнародних залізничних перевезень та обробки міжнародного вагонопотоку на прикордонних станціях в умовах різної ширини колії.

Метою роботи є удосконалення технології організації міжнародних перевезень у сучасних умовах шляхом обґрунтування раціональних параметрів роботи прикордонних залізничних станцій та оптимізації процесів обробки міжнародного вагонопотоку.

Проаналізовано особливості функціонування прикордонних залізничних переходів з країнами Європейського Союзу та визначено основні техніко-технологічні обмеження, що впливають на ефективність організації перевізного процесу.

Досліджено технологічного процесу роботи прикордонної станції та статистичний аналіз параметрів міжнародного вагонопотоку. На основі методів теорії масового обслуговування, математичної статистики, економіко-математичного моделювання та прогнозування розроблено математичну модель оптимізації процесів обробки міжнародного вагонопотоку на прикордонній станції.

Удосконалено математичну модель обробки міжнародного вагонопотоку, яка враховує нелінійну залежність часу очікування у технологічних підсистемах від рівня їх завантаження на основі апроксимації Аллена-Кунніна для систем масового обслуговування типу $G/G/c$. Це дозволяє визначати раціональні параметри функціонування прикордонних станцій та оптимізувати процес зміни ширини колії з урахуванням стохастичного характеру перевізного процесу. Подальшого розвитку набула методика узгодження аналітичної оцінки простою вагонів із результатами табличного моделювання повного технологічного циклу їх обробки.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні рекомендацій щодо підвищення пропускної та переробної спроможності прикордонних залізничних переходів, скорочення часу обробки міжнародного вагонопотоку, зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності міжнародних залізничних перевезень.

ABSTRACT

This qualification work includes 17 presentation slides, 89 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 33 figures, 18 tables, and 30 literature references.

Keywords: INTERNATIONAL RAIL TRANSPORT, BORDER STATION, INTERNATIONAL RAIL CAR FLOW, RAILWAY CROSSING, TRACK GAUGE, QUEUEING THEORY, MATHEMATICAL MODELING

The subject of this study is the process of organizing international rail transport and handling international rail traffic at border stations under conditions of varying track gauges.

The objective of this work is to improve the technology for organizing international transport under modern conditions by establishing rational operating parameters for border rail stations and optimizing the processes for handling international rail traffic.

The study analyzes the operational characteristics of border railway crossings with European Union countries and identifies the main technical and technological constraints affecting the efficiency of the transportation process.

The technological process of a border station's operations and a statistical analysis of international railcar traffic parameters were investigated. Based on methods of queueing theory, mathematical statistics, economic-mathematical modeling, and forecasting, a mathematical model for optimizing the handling of international railcar traffic at a border station was developed.

A mathematical model for handling international railcar traffic has been refined; it accounts for the nonlinear dependence of waiting times in technological subsystems on their load levels, based on the Allen-Kunnin approximation for G/G/c queueing systems. This makes it possible to determine optimal operating parameters for border stations and to optimize the process of changing track gauge, taking into account the stochastic nature of the transportation process. The methodology for reconciling the analytical assessment of railcar downtime with the results of tabular modeling of the complete technological cycle of their handling has been further developed.

The practical significance of the obtained results lies in the development of recommendations for increasing the throughput and handling capacity of border railway crossings, reducing the processing time for international railcar traffic, lowering operating costs, and improving the efficiency of international rail transport.

Український державний університет залізничного транспорту
Факультет управління процесами перевезень
Кафедра залізничних станцій та вузлів
Освітній рівень: магістр
Спеціальність 275 Транспортні технології
275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

професор, д-р техн. наук

 Олександр ОГАР

« 23 » лютого 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Антоненко Владислав Сергійович

1 Тема «Удосконалення технології організації міжнародних перевезень в сучасних умовах»

керівник Шаповал Ганна Василівна, канд. техн. наук, доцент.

затверджені розпорядженням по факультету Управління процесами перевезень від 23 лютого 2026 року № 05/26.

2 Строк подання студентом закінченої роботи – 19 червня 2026 року

3 Вихідні дані: інфраструктура прикордонних переходів; техніко-експлуатаційна характеристика; основні показники роботи прикордонних переходів та станції.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1 Організація міжнародних перевезень залізничним транспортом в сучасних умовах

2 Дослідження питань інтеграції транспортних систем при міжнародних перевезеннях

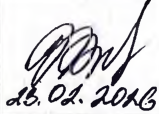
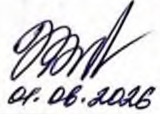
3 Характеристика прикордонних залізничних переходів України з країнами Європейського Союзу в умовах різної ширини колії

4 Підвищення ефективності використання інфраструктури прикордонних переходів при міжнародних перевезеннях

5 Оцінка економічної ефективності проектного рішення

5 Перелік графічного матеріалу: мета, предмет, об'єкт та задачі роботи; актуальність, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів; особливості взаємодії основних учасників перевізного процесу при міжнародних перевезеннях; технологія перестановки вагонів між коліям різних стандартів; формалізація технології обробки вагонів на станції; дослідження основних параметрів роботи станції; математична модель; результати моделювання; результати визначення оптимальних параметрів; економічний ефект від впровадження запропонованого проектного рішення; висновки (17 арк.).

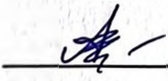
6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Оцінка економічної ефективності проектного рішення	Наталія ГРИЦЕНКО, доцент, канд. екон. наук	 25.02.2026	 01.06.2026

7 Дата видачі завдання 23 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Організація міжнародних перевезень залізничним транспортом в сучасних умовах	09.03.2026	Виконано
2 Дослідження питань інтеграції транспортних систем при міжнародних перевезеннях	27.03.2026	Виконано
3 Характеристика прикордонних залізничних переходів України з країнами Європейського Союзу в умовах різної ширини колії	19.04.2026	Виконано
4 Підвищення ефективності використання інфраструктури прикордонних переходів при міжнародних перевезеннях	30.04.2026	Виконано
5 Оцінка економічної ефективності проектного рішення	01.06.2026	Виконано
Оформлення роботи	15.06.2026	Виконано

Студент  Владислав АНТОНЕНКО

Керівник  Ганна ШАПОВАЛ

Зміст

Вступ	8
1 Організація міжнародних перевезень залізничним транспортом в сучасних умовах	12
1.1 Особливості взаємодії основних учасників перевізного процесу при міжнародних перевезеннях	12
1.2 Залізнична інфраструктура різних країн при міжнародних перевезеннях	14
1.3 Сучасний стан міжнародних залізничних перевезень	18
2 Дослідження питань інтеграції транспортних систем при міжнародних перевезеннях	21
2.1 Технологічні рішення, що застосовуються для подолання проблем різної ширини колії	21
2.2 Аналіз наукових підходів удосконаленню технології перевезень в міжнародному сполученні	25
3 Характеристика прикордонних залізничних переходів України з країнами Європейського Союзу в умовах різної ширини колії	29
3.1 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Польщею	30
3.2 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Словаччиною	37
3.3 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Угорщиною	39
3.4 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Румунією	42

					УТОМП 300.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення технології організації міжнародних перевезень в сучасних умовах	Літ.	Арк.	Аркуші
Розроб.		Антоненко	<i>Антоненко</i>	2.06.20				
Перевір.		Шаповал	<i>Шаповал</i>	12.06.20			6	98
Н. контр.		Шаповал	<i>Шаповал</i>	12.06.20		УкрДУЗТ 6		
Затв.		Огар	<i>Огар</i>	17.06.20				

3.5 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Молдовою	45
4 Підвищення ефективності використання інфраструктури прикордонних переходів при міжнародних перевезеннях	46
4.1 Технологія перестановки вагонів між коліями різних стандартів	46
4.2 Формалізація технології обробки вагонів на прикордонній станції при зміні ширини колії	51
4.3 Визначення змін основних показників роботи прикордонної станції	62
5 Оцінка економічної ефективності проектного рішення	72
5.1 Запропонована технологія роботи пункту перестановки вагонів	72
5.2 Визначення обсягу роботи при перестановці вагонів міжнародного сполучення на прикордонній станції	73
5.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованих змін	79
Висновки	82
Список використаних джерел	86
Додаток А Дослідження основних параметрів роботи станції	90

Вступ

В умовах повномасштабної військової агресії проти України залізничний транспорт продовжує відігравати ключову роль у функціонуванні національної транспортної системи, забезпечуючи основний обсяг вантажних та значну частку пасажирських перевезень. За сучасних умов особливого значення набуває організація міжнародних перевезень, оскільки саме залізничний транспорт забезпечує реалізацію експортного потенціалу держави, доставку гуманітарної допомоги, перевезення стратегічно важливих вантажів та підтримання економічної стійкості країни.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності організації міжнародних залізничних перевезень в умовах інтеграції транспортної системи України до європейського транспортного простору та переорієнтації значної частини зовнішньоторговельних вантажопотоків на західний напрямок. Після початку повномасштабної військової агресії російської федерації роль залізничного транспорту в забезпеченні експортно-імпортних перевезень суттєво зросла, що спричинило значне навантаження на прикордонну інфраструктуру та виявило наявні технологічні, технічні й організаційні обмеження міжнародних перевезень.

Відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [1] одним із пріоритетних напрямів розвитку транспортної галузі визначено інтеграцію транспортної системи України до європейської мережі, забезпечення інтероперабельності залізничного транспорту, розвиток міжнародних транспортних коридорів, цифровізацію перевізного процесу та підвищення конкурентоспроможності транспортних послуг. Реалізація зазначених завдань потребує удосконалення технології організації міжнародних перевезень, насамперед на прикордонних залізничних переходах, які є ключовими елементами транспортно-логістичного ланцюга між Україною та країнами Європейського Союзу.

Особливої актуальності проблема набуває у зв'язку з необхідністю гармонізації національної транспортної системи з вимогами законодавства Європейського Союзу. Директива 2004/49/ЄС [2] визначає безпеку залізничних перевезень як один із базових

принципів функціонування єдиного європейського залізничного простору та передбачає впровадження сучасних механізмів управління безпекою перевізного процесу. У свою чергу, Директива 2001/16/ЄС [3] та Директива 2004/50/ЄС [4] встановлюють вимоги щодо експлуатаційної сумісності залізничних систем, що передбачає усунення технічних і технологічних бар'єрів у міжнародному сполученні, забезпечення взаємодії інфраструктури, рухомого складу та систем управління перевезеннями.

Одним із найбільш суттєвих бар'єрів на шляху інтеграції української залізничної мережі до європейської транспортної системи залишається відмінність ширини колії (1520 мм та 1435 мм), що зумовлює необхідність виконання додаткових технологічних операцій з перестановки вагонів або перевантаження вантажів. У результаті збільшується тривалість перебування вагонів на прикордонних станціях, зростають експлуатаційні витрати та знижується ефективність використання інфраструктури міжнародних транспортних коридорів.

Крім того, сучасні умови функціонування міжнародних перевезень характеризуються необхідністю підвищення пропускної спроможності прикордонних переходів, скорочення часу виконання митних і технологічних операцій, впровадження цифрових технологій управління перевізним процесом та забезпечення відповідності європейським стандартам безпеки й експлуатаційної сумісності. Вирішення зазначених завдань потребує наукового обґрунтування раціональних параметрів функціонування прикордонних залізничних станцій та розроблення ефективних організаційно-технологічних рішень.

Таким чином, удосконалення технології організації міжнародних перевезень в сучасних умовах є важливим науково-практичним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню транзитного потенціалу України та прискоренню інтеграції національної транспортної системи до європейського транспортного простору.

Метою роботи є удосконалення технології організації міжнародних перевезень у сучасних умовах шляхом обґрунтування раціональних параметрів роботи прикордонних залізничних станцій та оптимізації процесів обробки міжнародного вагонопотоку.

Об'єкт дослідження процес організації міжнародних залізничних перевезень та обробки міжнародного вагонопотоку на прикордонних станціях в умовах різної ширини колії.

Предмет дослідження техніко-технологічні та організаційні параметри функціонування прикордонних залізничних переходів, які визначають ефективність міжнародних перевезень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан та проблеми організації міжнародних залізничних перевезень України в умовах воєнного стану;
- дослідити особливості функціонування прикордонних залізничних переходів між Україною та країнами Європейського Союзу;
- проаналізувати існуючі технології подолання різної ширини колії та перспективи інтеграції залізничної системи України до європейської транспортної мережі;
- дослідити технологічний процес роботи прикордонної станції та виконати статистичний аналіз її основних параметрів;
- розробити математичну модель оптимізації процесів обробки міжнародного вагонопотоку;
- визначити раціональні параметри функціонування прикордонного переходу та оцінити економічну ефективність запропонованих заходів.

Методи дослідження: методи математичної статистики, теорія масового обслуговування, економіко-математичне моделювання, методи оптимізації, прогнозування часових рядів, табличне моделювання та методи оцінки економічної ефективності інвестиційних рішень.

Наукова новизна. Удосконалено математичну модель обробки міжнародного вагонопотоку на прикордонній станції, яка, на відміну від відомих, враховує нелінійну залежність часу очікування у технологічних підсистемах від рівня їх завантаження на основі апроксимації Аллена-Кунніна для систем масового обслуговування типу G/G/c, що дозволяє визначати раціональну довжину состава з урахуванням стохастичності процесів зміни ширини колії. Дістала подальшого

розвитку методика узгодження аналітичної оцінки простою з результатами табличного моделювання повного технологічного циклу.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості використання розроблених рекомендацій для підвищення пропускної та переробної спроможності прикордонних залізничних переходів, скорочення часу обробки міжнародного вагонопотоку, зниження експлуатаційних витрат та підвищення ефективності міжнародних залізничних перевезень.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та містить оди додаток.

Публікації. Результати роботи доповідались та були схвалені на 6-ї міжнародній науково-технічній конференції «*Інтелектуальні транспортні технології*» (Україна, м. Харків, 24-26 листопада 2025 р.) та 22-й науково-практичній міжнародній конференції «*Міжнародна транспортна інфраструктура, індустріальні центри та корпоративна логістика*» (Україна, м. Харків, 4-5 червня 2026 р) [28, 29].

1 Організація міжнародних перевезень залізничним транспортом в сучасних умовах

1.1 Особливості взаємодії основних учасників перевізного процесу при міжнародних перевезеннях

У сучасних умовах функціонування міжнародних залізничних вантажних перевезень взаємодія суб'єктів господарювання з АТ «Укрзалізниця» супроводжується низкою проблемних аспектів, які негативно впливають на результативність логістичних процесів та спричиняють виникнення додаткових витрат для учасників транспортного ринку.

Проблеми, що виникають у процесі співпраці вантажовідправників, вантажоодержувачів, операторів рухомого складу та АТ «Укрзалізниця», мають комплексний характер і охоплюють технічну, організаційну та нормативно-правову складові функціонування перевізного процесу (рисунки 1.1-1.3).

	ДЕФИЦИТ ТА ЗНОШЕНІСТЬ РУХОМОГО СКЛАДУ: обмежений доступ до вантажних вагонів та їх нерівномірний розподіл між замовниками, у поєднанні з високим рівнем фізичного зносу парку і низькою економічною привабливістю експлуатації, формує хронічний дефіцит доступних вагонів.
	НЕДОСТАТНІЙ ЛОКОМОТИВНИЙ ПАРК: обмежена кількість магістральних та маневрових локомотивів призводить до збільшення часу обслуговування вагонів на станціях та під час перевезень у завантаженому і порожньому стані.
	ТЕХНІЧНИЙ ТА САНІТАРНИЙ СТАН ВАГОНІВ: вагонний парк часто експлуатується у незадовільному технічному стані, систематично надаються брудні порожні вагони під навантаження. Використання застарілих моделей малотоннажних напівпричепів обмежує універсальність перевезень, при цьому відмова від вагона супроводжується штрафними санкціями.
	САМОСТІЙНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАГОНІВ ЗАМОВНИКАМИ: через дефіцит справного рухомого складу підприємства змушені власними силами підтримувати належний технічний та санітарний стан вагонів, одночасно сплачуючи за їх використання.

Рисунок 1.1 – Технічні проблеми

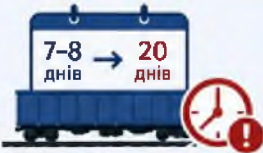
	ПОРУШЕННЯ ТЕРМІНІВ ДОСТАВКИ: вагонний парк, що за нормативними термінами має долати маршрут протягом 7-8 днів, у реальності іноді прибуває через 20 днів. Затримки на проміжних станціях («кинуті поїзди») спричиняють порушення контрактних зобов'язань, псування вантажу та додаткові логістичні витрати.
	НЕЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ: відсутність узгодження з вантажовідправниками щодо подвійних операцій часто призводить до повернення вагонів порожніми, навіть при наявності замовлень.
	ОБМЕЖЕНИЙ ПІЛЬГОВИЙ ЧАС ДЛЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ: нормативні години пільгового часу для завантаження є недостатніми, враховуючи затримки у наданні вагонів через експедиторів. Перевищення цього часу тягне за собою значні фінансові штрафи.
	НЕДОСКОНАЛЕ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ: фактичні обсяги перевезень часто не збігаються з підтвердженими заявками. Відсутність гарантій щодо забезпечення рухомим складом та штрафних санкцій у разі невиконання створює непередбачувану ситуацію для замовників.
	ОБМЕЖЕНА ПРОПУСКНА СПРОМОЖНІСТЬ ПРИКОРДОННИХ ПЕРЕХОДІВ: спричиняє уповільнення оборотності вагонів, що негативно впливає на логістичну ефективність міжнародних перевезень.

Рисунок 1.2 – Організаційні проблеми

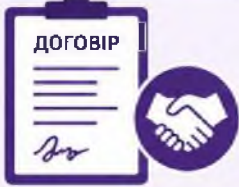
	ДОГОВІРНІ УМОВИ: укладання договорів з АТ «Укрзалізниця» відображає переважно інтереси залізниці та не передбачає можливості внесення змін за ініціативою замовника.
	НЕПРОЗОРА СИСТЕМА ПЛОМБУВАННЯ: заборонено використання додаткових пломб відправника з відображенням у накладній, що обмежує контроль за вантажем.
	ПРІОРИТЕТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВЛАСНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ: доступ до об'єктів інфраструктури надається першочергово рухомому складу АТ «Укрзалізниця», без урахування потреб інших замовників.
	НЕПЕРЕДБАЧУВАНА ТАРИФНА ПОЛІТИКА: відсутність прозорості та системності у формуванні тарифів дозволяє залізниці неодноразово підвищувати вартість послуг та виводити окремі складові тарифів з-під державного регулювання.

Рисунок 1.3 - Нормативно-правові проблеми

Підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту як на внутрішньому, так і на міжнародному ринку транспортних послуг потребує реалізації комплексу взаємопов'язаних заходів. До їх числа належать оновлення та модернізація рухомого складу, удосконалення механізмів планування перевезень, формування економічно обґрунтованої тарифної політики, а також адаптація договірних відносин до сучасних вимог клієнтів транспортної галузі.

1.2 Залізнична інфраструктура різних країн при міжнародних перевезеннях

Одним із визначальних чинників розвитку транспортної системи України залишається забезпечення належної якості міжнародних перевезень та відповідного рівня інфраструктурного забезпечення. Наявні технічні й організаційні відмінності між національною залізничною мережею та транспортними системами країн Європейського Союзу ускладнюють процес інтеграції українських залізниць до єдиного європейського транспортного простору.

Характерною особливістю залізничної інфраструктури України є експлуатація колії шириною 1520 мм, тоді як у більшості держав Європи використовується стандартна ширина колії 1435 мм. Серед країн Європейського Союзу лише Латвія, Литва та Естонія застосовують колію шириною 1520 мм, а у Фінляндії функціонує колія шириною 1524 мм. Саме відмінність параметрів колії формує одну з основних технічних перешкод під час організації міжнародного залізничного сполучення між Україною та державами ЄС.

Для залізничної системи простору 1520 мм характерним є високий рівень взаємозв'язку між інфраструктурними елементами та рухомим складом, що суттєво відрізняє її від інших видів транспорту. Разом із різною шириною колії на ефективність міжнародних перевезень впливають також відмінності у вимогах національного законодавства, системах сигналізації та зв'язку, параметрах електрифікації, допустимій довжині поїздів, а також габаритах рухомого складу.

Сукупність зазначених факторів обумовлює необхідність застосування спеціальних технологічних рішень на прикордонних переходах.

Важливу роль у забезпеченні міжнародних транспортних зв'язків України виконує регіональна філія «Львівська залізниця». До її складу входить 15 пунктів перетину державного кордону, через які здійснюються як пасажирські, так і вантажні перевезення між Україною та суміжними державами. Із них 7 переходів розташовані на кордоні з Польщею, 2 - зі Словаччиною, 4 - з Румунією та 2 - з Молдовою [5]. Основні транспортні маршрути, що забезпечують вихід до країн Європейського Союзу, проходять через електрифіковані двоколіійні напрямки Мостиська II та Чоп. Незважаючи на відмінності маршрутів, практично всі міжнародні перевезення стикаються з однаковими інфраструктурними та технологічними обмеженнями, пов'язаними з перетином кордону та зміною технічних стандартів. Розташування прикордонних залізничних пунктів пропуску наведено на рисунку (рисунк 1.4).



Рисунок 1.4 - Розташування залізничних пунктів пропуску на кордоні

Основна частина міжнародних вагонопотоків концентрується на обмеженій кількості прикордонних переходів. За статистичними даними, близько 90 % загального обсягу перевезень між Україною та країнами Європейського Союзу проходить через найбільш завантажені прикордонні стики. Аналіз структури вагонопотоків на цих напрямках дозволяє оцінити рівень використання

інфраструктури, визначити найбільш завантажені елементи транспортної мережі та встановити перспективні напрями її подальшого розвитку.

Узагальнені показники роботи основних прикордонних переходів, через які здійснюється переважна частина міжнародних залізничних перевезень, наведено в таблиці 1.1. Вони характеризують обсяги експортних та імпорتنних вагонопотоків, а також дозволяють визначити частку кожного переходу в загальному обсязі міжнародних перевезень між Україною та країнами Європейського Союзу.

Таблиця 1.1 - Річні обсяги вагонопотоків на прикордонних переходах

Прикордонні переходи (з країною)	Вагонопотоки					%
	Експорт		Імпорт		Разом, ваг./рік	
	1520мм	1435мм	1520мм	1435мм		
Ягодин–Дорохуськ (Польща)	9273	2054	411	2137	13875	3,0
Ізов–Грубешув (Польща)	140193	0	15547	0	155740	34,1
Вадул–Сірет– Дорнешти (Румунія)	15948	233	1182	138	17501	3,8
Рава-Руська– Верхрата (Польща)	2948	0	0	0	2948	0,6
Мостиська-2–Медика (Польща)	22990	36	805	1474	25305	5,5
Чоп–Захонь (Угорщина)	0	3460	0	2739	6199	1,4
Чоп–Чіерна-над-Тісоу (Словаччина)	87610	5702	347	10180	103839	22,8
Ужгород–Матевце (Словаччина)	80349	0	2077	0	82426	18,1
Батьово–Еперешке (Угорщина)	47358	0	1148	0	48506	10,6
РАЗОМ	406669	11485	21517	16668	456339	100,0

Найвищий рівень інтенсивності міжнародних вагонопотоків спостерігається на прикордонному напрямку Ізов (Україна) – Грубешув (Польща). Особливістю даного маршруту є відсутність необхідності виконання операцій з перестановки вагонів у зв'язку зі зміною ширини колії, що обумовлено функціонуванням інфраструктури колії 1520 мм, яка заходить на територію суміжної держави майже на 400 км до району Славкува.

Повномасштабне вторгнення суттєво вплинуло на систему організації міжнародних перевезень через західні прикордонні переходи. Внаслідок цього

відбулися зміни у структурі та обсягах перевезень, а також посилилось значення перевезень із використанням європейського стандарту колії 1435 мм. Найбільш виразно зазначені тенденції проявилися на переході Ягодин – Дорохуськ, де реалізуються практично всі види міжнародних перевезень із використанням як широкої, так і європейської колії.

Зростання обсягів імпорتنих перевезень насамперед зумовлене суттєвим збільшенням надходження військових і гуманітарних вантажів із держав Європейського Союзу. Одночасно спостерігається майже десятикратне збільшення експортних перевезень, при цьому значна частина вантажопотоків переміщується із використанням залізничної інфраструктури європейської колії шириною 1435 мм. Виявлені тенденції підтверджують доцільність прискорення інтеграційних процесів транспортної системи України до європейського транспортного середовища та необхідність її подальшого приведення у відповідність до вимог і стандартів ЄС.

Для прикордонного переходу Ужгород – Матевце характерним залишається відносно стабільний рівень вантажопотоків, що обумовлено переважанням перевезень сировинних вантажів ширококолійною інфраструктурою. Водночас на напрямку Батьово – Еперешке фіксується тенденція до збільшення імпорتنих перевезень, що пояснюється використанням технологій транспортування без виконання додаткових перевантажувальних операцій. Особливістю зазначених прикордонних переходів є здійснення перевезень виключно колією шириною 1520 мм. Найбільш відчутні зміни спостерігаються у структурі імпорتنих вантажопотоків, що безпосередньо пов'язано зі специфікою функціонування транспортної системи в умовах воєнного стану.

Суттєві трансформації відбулися також на інших прикордонних переходах, де експлуатуються як колії шириною 1520 мм, так і 1435 мм. Наслідком воєнного стану стало істотне коригування структури та обсягів перевезень. Зокрема, на переході Мостиська-2 – Медика (Польща) інтенсивність руху вантажів зросла в десятки разів, оскільки цей напрямок перетворився на один із провідних логістичних маршрутів, що забезпечують взаємодію між транспортними вузлами України та Польщі.

Аналізуючи роботу прикордонних переходів Чоп – Захонь (Угорщина) та Чоп – Чірна-над-Тісоу (Словаччина), слід відзначити, що в угорському напрямку використання широкої колії залишається незначним. Разом із тим обсяги експортних перевезень демонструють стійку тенденцію до поступового збільшення. На словацькому напрямку, навпаки, спостерігається зростання імпорتنих вантажопотоків, перевезення яких здійснюється переважно колією європейського стандарту шириною 1435 мм.

1.3 Сучасний стан міжнародних залізничних перевезень

Підвищення інтенсивності вагонопотоків на прикордонних переходах зумовлене комплексним впливом низки взаємопов'язаних факторів. Вирішальну роль у формуванні цієї тенденції відіграло активне залучення залізничного транспорту до виконання завдань військово-логістичного забезпечення та підтримання оборонного потенціалу держави. Однією з ключових причин стало блокування українських морських портів, наслідком чого стала суттєва зміна логістичних маршрутів і переорієнтація значної частини експортних вантажопотоків у напрямку західного кордону. Транспортування великих обсягів зернової продукції почало здійснюватися через прикордонну інфраструктуру залізничним та автомобільним транспортом до портових комплексів країн Європейського Союзу, передусім Польщі та Румунії, звідки вантажі надалі відправляються морським транспортом до країн Африки та Азії (рисунок 1.5).

На організацію перевізного процесу істотно вплинули фактори інфраструктурного та організаційного характеру. До найбільш вагомих із них належать обмежена пропускна спроможність окремих прикордонних переходів, а також наявність адміністративних перешкод, що виникають унаслідок недостатньо ефективної координації взаємодії між залізничними адміністраціями суміжних держав. Зазначені обставини негативно впливають на ритмічність міжнародних перевезень і стримують подальше підвищення ефективності використання прикордонної транспортної інфраструктури.



Рисунок 1.5 – Експортні залізничні перевезення із суміжними країнами [6]

У період пікового навантаження, спричиненого блокуванням українських морських портів, через прикордонні станції регіональної філії «Львівська залізниця» здійснювався майже весь експорт зернових вантажів залізничним транспортом, частка якого досягала 98 %. Найбільше навантаження припадало на прикордонні станції Батьово, Чоп, Ізов і Вадул-Сірет. Це призвело не лише до суттєвого збільшення інтенсивності вагонопотоків, а й до зростання тривалості простою вагонів у чергах, пов'язаних з очікуванням перетину державного кордону.

За наявних обмежень щодо допуску вагонів колії шириною 1520 мм на інфраструктуру європейської колії 1435 мм прикордонні станції вимушені застосовувати технології перевантаження вантажів. Використання таких технологій супроводжується значною трудомісткістю виконання робіт, підвищеними експлуатаційними витратами та додатковими ризиками пошкодження рухомого складу. Більш ефективним напрямом вважається технологія перестановки вагонів з візків однієї ширини колії на візки іншого стандарту. Водночас у попередні роки її широке впровадження стримувалося складністю технологічного процесу та значними витратами трудових ресурсів. Нині реалізуються заходи з модернізації пунктів перестановки вагонів на основі сучасних трансбордерних технологій, використання яких сприятиме збільшенню пропускної спроможності прикордонної інфраструктури та зменшенню витрат праці на виконання відповідних операцій.

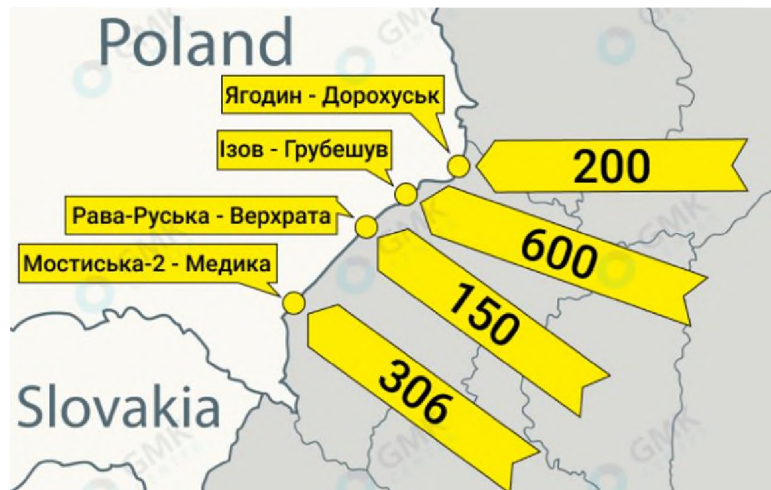


Рисунок 1.6 – Пропускна спроможність вантажних залізничних пунктів пропуску на кордоні України з Польщею (вагонів) [7]

Серед основних факторів, що зумовлюють виникнення затримок на прикордонних станціях, слід виділити недостатню забезпеченість сучасними механізованими засобами, високий рівень завантаження колійного розвитку, призначеного для виконання перевантажувальних операцій, несвоєчасне подавання вагонів до місць обробки, очікування порожнього рухомого складу іншої ширини колії, затримки супровідного персоналу. Додатково негативний вплив на ритмічність міжнародних перевезень справляє недостатньо ефективна координація взаємодії між митними органами, залізничними адміністраціями та декларантами. У результаті цього виникають затримки у просуванні міжнародних вантажопотоків, що призводить до збільшення матеріальних витрат та формування додаткових репутаційних ризиків для перевізників і власників вантажів.

Ефективність міжнародних залізничних перевезень України значною мірою залежить від рівня взаємодії між усіма учасниками перевізного процесу, технічного стану об'єктів інфраструктури та можливостей прикордонних переходів щодо пропуску вагонопотоків. До ключових чинників, які стримують подальший розвиток міжнародного залізничного сполучення, належать різна ширина колії в Україні та більшості держав Європейського Союзу, недостатня пропускна спроможність окремих прикордонних станцій, недосконалість організаційних механізмів взаємодії між учасниками перевезень, а також наявні нормативно-правові обмеження.

2 Дослідження питань інтеграції транспортних систем при міжнародних перевезеннях

2.1 Технологічні рішення, що застосовуються для подолання проблем різної ширини колії

У процесі організації міжнародного залізничного сполучення держави, залізнична мережа яких використовує ширину колії, відмінну від загальноприйнятого європейського стандарту 1435 мм, стикаються з низкою технічних і технологічних труднощів. Їх виникнення обумовлене необхідністю забезпечення взаємодії національних залізничних систем із транспортною інфраструктурою стандартної європейської колії. Для усунення технічної несумісності між різними системами застосовуються спеціалізовані технологічні рішення, спрямовані на забезпечення безперервності перевізного процесу.

Одним із найбільш поширених підходів до вирішення зазначеної проблеми є організація перевантаження вантажів або пересадки пасажирів із рухомого складу однієї ширини колії до вагонів іншого стандарту. Виконання таких операцій здійснюється на спеціально обладнаних стикових пунктах, розташованих у місцях примикання колій різної ширини, які оснащуються необхідними технічними засобами та відповідною виробничою інфраструктурою.

При використанні технології перевантаження прикордонні станції повинні мати розвинену колійну інфраструктуру, що включає приймально-відправні парки, спеціалізовані колії різної ширини та з'єднувальні ділянки між ними. До таких транспортних вузлів із території суміжних держав підходять магістральні лінії, побудовані за різними стандартами ширини колії. Як приклад можна навести станцію Чоп регіональної філії «Львівська залізниця», до якої зі сторони Словаччини примикає ділянка колії 1435 мм від станції Чіерна-над-Тісоу, а зі сторони Угорщини — від станції Захонь. Одночасно з української сторони до станції підходять ширококолійні ділянки 1520 мм у напрямках Ужгорода та Батьова. Крім того, від станції Чоп у напрямку прикордонних станцій суміжних держав продовжуються лінії

колії шириною 1520 мм, що створює умови для безперервного пропуску ширококолійного рухомого складу без виконання додаткових операцій зі зміни стандарту колії.

Спеціалізовані парки, у яких одночасно експлуатуються колії шириною 1435 мм та 1520 мм, функціонують на прикордонних станціях Чоп, Чірна-над-Тісоу і Захонь. Відповідно до стандарту ширини колії суміжної держави на зазначені колії подається рухомий склад для подальшого виконання вантажних операцій. Після прибуття вагонів здійснюється перевантаження вантажів із ширококолійного рухомого складу до вагонів європейського стандарту або в зворотному напрямку. Серед усіх технологій, що використовуються для забезпечення міжнародних перевезень через стики різної ширини колії, саме перевантаження належить до найбільш витратних як за трудовими, так і за матеріальними ресурсами. Додатково під час виконання таких операцій збільшується ймовірність пошкодження вантажів та елементів рухомого складу. Необхідність постійного забезпечення порожніми вагонами відповідної ширини колії створює залежність від їх наявності у розпорядженні суміжних залізничних адміністрацій, що також ускладнює організацію перевізного процесу.

На використанні іншого принципу ґрунтується технологія перестановки вагонів на візки альтернативної ширини колії. Для її реалізації на спеціалізованих пунктах кузов вагона спочатку підіймається домкратними установками, після чого з-під нього вилучаються візки одного стандарту та підкочуються візки іншої ширини колії. Незважаючи на відсутність необхідності перевантажувати вантаж, виконання таких операцій супроводжується значними витратами ресурсів, потребує дотримання підвищених вимог безпеки та вимагає наявності спеціально обладнаних пунктів перестановки. Крім цього, для організації технологічного процесу необхідно передбачати окремі колії, а також спеціальні майданчики, призначені для накопичення та зберігання змінних візків різних стандартів ширини колії (рисунки 2.1, 2.2).



Рисунок 2.1 – Пункт перестановки пасажирських вагонів на станції [8]



Рисунок 2.2 - Пункт перестановки вантажних вагонів на станції [8]

До технологічних рішень, які застосовуються для подолання проблеми різної ширини колії, належить використання спеціалізованого рухомого складу, оснащеного колісними парами зі змінною шириною колії. Принцип функціонування таких систем базується на автоматичному пристосуванні колісних пар до необхідного стандарту колії під час проходження поїздом через стаціонарні установки зміни ширини.

Певне скорочення тривалості технологічних операцій на стиках колій різних стандартів забезпечується завдяки застосуванню вагонів із розсувними колісними парами. Водночас впровадження цієї технології потребує обладнання прикордонних станцій спеціальними пристроями для автоматичної зміни ширини колії. Суттєвим

недоліком такого підходу є складна конструкція колісних пар, що спричиняє зростання вартості рухомого складу, збільшення маси тари вагонів та ускладнення процесів технічного обслуговування і ремонту. Разом із цим найбільшою перевагою зазначеної технології є висока оперативність її використання, оскільки процес адаптації колісних пар до іншого стандарту колії здійснюється без зупинки поїзда та може виконуватися під час руху зі швидкістю до 15 км/год (рисунки 2.3, 2.4).



Рисунок 2.3 - Розсувна колісна пара SUW 2000 [9]



Рисунок 2.4 – Колієпровідний пристрій SUW 2000 [9]

У період з 2003 по 2016 рік на станціях Мостиська-2 та Яготин для забезпечення міжнародного пасажирського сполучення застосовувалася технологія автоматичної

зміни ширини колії. Її використання дозволяло суттєво скоротити тривалість виконання прикордонних операцій порівняно з традиційною технологією заміни візків вагонів на інший стандарт колії. Завдяки впровадженню системи SUW 2000 перехід рухомого складу з колії однієї ширини на іншу здійснювався приблизно за 30 хвилин, тоді як виконання аналогічної операції із застосуванням перестановки візків потребувало близько двох годин [9].

Незважаючи на значні переваги щодо скорочення часу обробки поїздів, подальше використання цієї технології було припинено. Основними причинами стали складність технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, обладнаного розсувними колісними парами, а також відсутність виробника, здатного забезпечувати належну підтримку й постачання необхідних комплектуючих для експлуатації системи.

2.2 Аналіз наукових підходів удосконаленню технології перевезень в міжнародному сполученні

Серед країн Європейського Союзу, на території яких експлуатуються залізничні мережі з шириною колії, відмінною від європейського стандарту 1435 мм, найбільш перспективним напрямом розвитку вважається поступовий перехід до єдиного стандарту колії. Поряд із цим для забезпечення безперервності міжнародних перевезень продовжують застосовуватися різні технологічні рішення, спрямовані на усунення технічної несумісності між залізничними системами різних стандартів.

Реалізація проєкту переходу залізничної мережі України з колії шириною 1520 мм на стандарт 1435 мм пов'язана зі значними труднощами технічного, економічного та організаційного характеру. Насамперед це обумовлено значною протяжністю залізничної інфраструктури держави, великими обсягами вантажних і пасажирських перевезень, а також обмеженістю фінансових, матеріальних і виробничих ресурсів, необхідних для виконання масштабних робіт з реконструкції інфраструктурних об'єктів.

Водночас стратегічного значення для розвитку транспортної галузі набуває інтеграція української залізничної системи до Транс'європейської транспортної мережі TEN-T. Необхідність реалізації цього напрямку визначається як положеннями Угоди про асоціацію між Україною та Європейським Союзом [10], так і положеннями Національної транспортної стратегії України до 2030 року [1]. Зазначені документи передбачають поступове включення транспортної системи України до мережі TEN-T [11] із дотриманням принципів інтероперабельності, мультимодальності та сумісності транспортної інфраструктури.

Важливим кроком у реалізації цієї стратегії стало рішення Європейської комісії щодо будівництва залізничної лінії європейського стандарту 1435 мм на напрямку Краків – Львів. Прийняття такого рішення підтверджує прагнення Європейського Союзу забезпечити інтеграцію мережі TEN-T з транспортною системою України, незважаючи на наявні технічні, технологічні та організаційні труднощі, що виникають під час взаємодії залізничних систем різної ширини колії. Очікується, що подальший розвиток Транс'європейської транспортної мережі сприятиме підвищенню ефективності залізничних перевезень і покращенню транспортних зв'язків між державами Європейського Союзу, Україною та Молдовою [12, 13].

Стабільне функціонування всіх видів транспорту, підвищення їх конкурентоспроможності та збалансований розвиток транспортної галузі є необхідними передумовами інтеграції України до Транс'європейської транспортної мережі TEN-T. Проведений аналіз сучасного стану національної транспортної системи дав можливість визначити ключові тенденції розвитку ринку транспортних послуг і підтвердити домінуючу роль автомобільного та залізничного транспорту у забезпеченні вантажних перевезень. Водночас результати більшості досліджень ґрунтувалися на умовах відносно стабільного економічного розвитку та не враховували специфіку функціонування транспортних сегментів, у межах яких взаємодіють залізничні системи з різними стандартами ширини колії.

Окремий напрям досліджень був присвячений вивченню нормативно-правової бази Європейського Союзу, що регламентує формування сучасної транспортної політики та визначає засади функціонування і розвитку мережі TEN-T. Головною

метою зазначених документів є створення організаційних і фінансових механізмів підтримки розвитку Транс'європейської транспортної мережі, визначення пріоритетних інфраструктурних проєктів та встановлення інструментів їх практичної реалізації. У межах проведених досліджень були визначені вимоги до об'єктів базової та комплексної мережі TEN-T для різних видів транспорту, а також розглянуті підходи до відбору, фінансування та впровадження інфраструктурних проєктів, що мають стратегічне значення.

Разом із тим більшість зазначених досліджень була виконана до прийняття рішень щодо розширення мережі TEN-T у східному напрямку шляхом включення до неї України та Молдови. У зв'язку з цим практичні питання інтеграції української залізничної системи до Транс'європейської транспортної мережі залишилися недостатньо опрацьованими. Насамперед це стосується технологічних аспектів взаємодії інфраструктури різної ширини колії, які набули особливої актуальності в умовах воєнного стану та залишатимуться важливими у післявоєнний період розвитку транспортної системи держави [14].

Значна частина сучасних наукових досліджень присвячена технічним аспектам забезпечення сумісності залізничних систем, що експлуатують колії різної ширини, а також питанням адаптації рухомого складу до умов міжнародного сполучення. Встановлено, що українська залізнична галузь уже має певний рівень нормативно-правової та технічної готовності до реалізації євроінтеграційних процесів у сфері інтероперабельності. Водночас для подальшого наближення вітчизняних залізниць до європейських стандартів необхідним є активне залучення всіх учасників транспортного ринку та координація їх дій [15].

Особливу увагу в наукових працях приділено аналізу технічних специфікацій інтероперабельності, які регламентують вимоги до взаємодії між підсистемами рухомого складу та підсистемами управління рухом, сигналізації і зв'язку на залізницях колії 1520 мм. Зазначені документи визначають порядок функціонування та сумісної роботи технічних засобів залізничного транспорту в умовах міжнародного сполучення [16].

Проблематика організації переходу між коліями різних стандартів також розглядається у дослідженнях, присвячених застосуванню конструкцій комбінованої колії [17]. Використання таких рішень дає змогу скоротити простої рухомого складу та зменшити обсяги перевантажувальних операцій. Разом із тим експлуатація комбінованої колії потребує виконання додаткових вимог до інфраструктури, серед яких забезпечення належної міцності колійної конструкції, стійкості колійних плит, правильного розміщення стрілочних переводів і встановлення допустимих швидкостей руху поїздів.

Значний практичний інтерес становить досвід Китаю, залізнична мережа якого функціонує на колії стандарту 1435 мм та активно залучена до реалізації міжнародної ініціативи «Один пояс - один шлях». У межах розвитку транспортних зв'язків із країнами, що використовують інші стандарти ширини колії, були проведені дослідження та створено прототип високошвидкісного пасажирського поїзда, оснащеного системою автоматичної зміни ширини колісних пар, розрахованого на швидкість руху до 400 км/год [18].

Окремий науковий напрям пов'язаний із вивченням особливостей функціонування залізничної мережі Іспанії, де одночасно експлуатуються колії шириною 1435 мм, іберійська колія 1668 мм, а також суміщена трирейкова колія та спеціальні перехідні дільниці для руху поїздів із розсувними колісними парами. У результаті досліджень було розроблено програмний комплекс, призначений для визначення оптимальних маршрутів, оцінки транспортних витрат, ресурсних потреб та екологічних показників. Запропонована методика базується на об'єднанні трьох існуючих підмереж у дві інтегровані системи, де перехідні дільниці розглядаються як сполучні елементи, що дозволяє застосовувати класичні алгоритми пошуку найкоротших маршрутів.

У низці наукових праць питання організації транскордонних перевезень розглядаються через призму математичного моделювання пріоритетності руху поїздів. Особлива увага приділяється перевезенням зернових вантажів, обсяги яких суттєво зросли внаслідок блокування морських портів України та необхідності функціонування транспортної системи в умовах воєнних ризиків [19, 20, 21].

На основі проведених досліджень сформовано підходи до подальшої інтеграції українських залізниць колії 1520 мм із мережею TEN-T стандарту 1435 мм. Ключову роль у цьому процесі відводять розвитку взаємодії із закордонними залізничними системами та іншими видами транспорту шляхом створення й удосконалення інтермодальних і мультимодальних вантажних терміналів.

Аналіз наукових джерел свідчить про зростання актуальності питань математичного моделювання інтермодальних і мультимодальних транспортних систем. Основною метою таких досліджень є підвищення ефективності функціонування транспортних комплексів з урахуванням технологічних, експлуатаційних та економічних критеріїв.

Проведене узагальнення світового досвіду експлуатації залізничних систем із різними стандартами ширини колії показало відсутність універсального механізму, який міг би бути безпосередньо застосований для інтеграції української залізничної мережі до європейського транспортного простору. З огляду на це подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на формування концептуальних, організаційних і технологічних засад інтеграції української залізничної мережі до системи TEN-T із урахуванням особливостей функціонування колії стандарту 1435 мм.

3 Характеристика прикордонних залізничних переходів України з країнами Європейського Союзу в умовах різної ширини колії

На сьогодні міжнародне вантажне сполучення між Україною та країнами Європейського Союзу і Республікою Молдова забезпечується через діючі прикордонні залізничні переходи з Польщею, Словаччиною, Угорщиною, Румунією та Молдовою. Основними пунктами перетину державного кордону на польському напрямку залишаються термінальні комплекси та прикордонні станції Мостиська-2, Ягодин та Ізов. На румунському напрямку ключову роль відіграють прикордонні переходи Дяково та Вадул-Сірет, через які забезпечується значна частина перевезень експортної продукції.

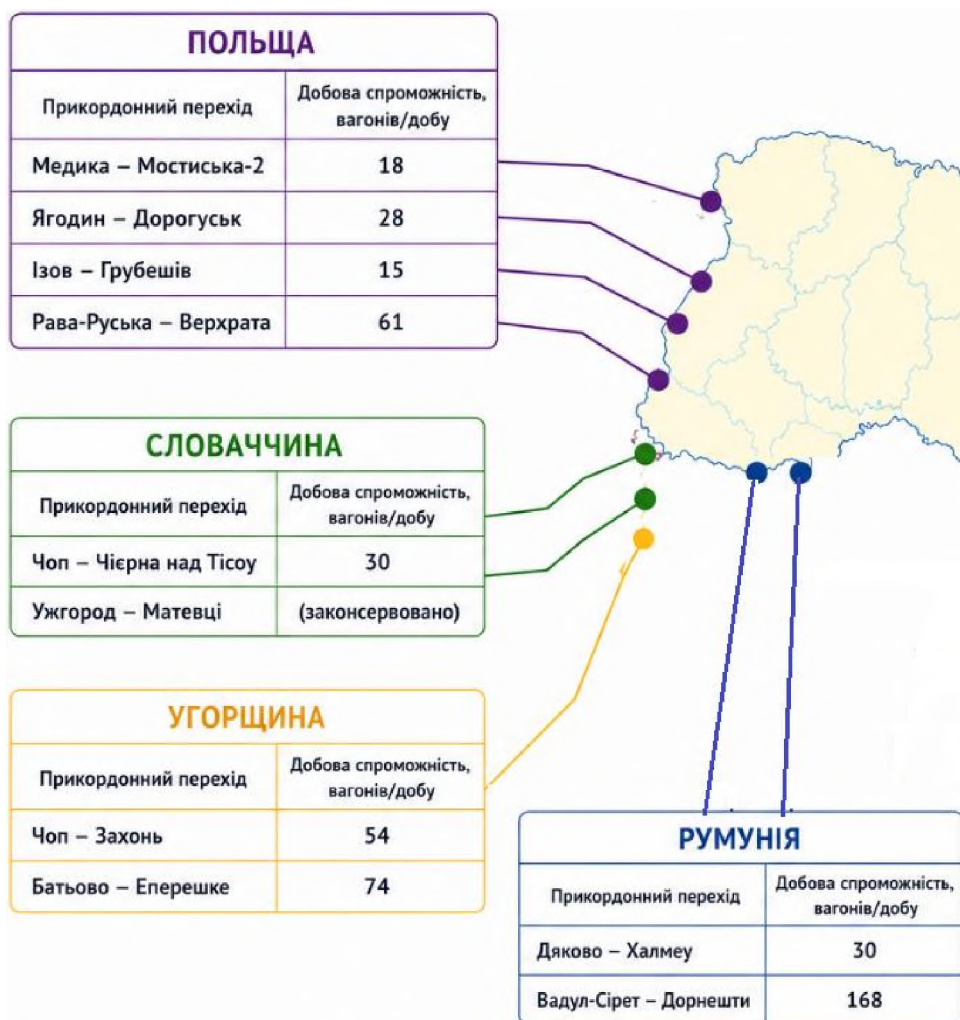


Рисунок 3.1- Характеристика залізничних пунктів переходу з різною шириною колії з перестановки вагонів з візків колії ширини 1520 мм на візки колії ширини 1435 мм

Важливе значення для організації міжнародних перевезень мають також переходи на молдовському напрямку, зокрема Рені – Джурджулешти та Могилів-Подільський, які забезпечують доступ до дунайських портів і створюють додаткові можливості для диверсифікації логістичних маршрутів. На словацькому напрямку міжнародне сполучення здійснюється через прикордонні станції Ужгород та Чоп, які забезпечують інтеграцію української залізничної мережі з транспортною системою Центральної Європи.

Таким чином, прикордонні залізничні переходи України є важливими елементами міжнародної транспортної інфраструктури, від ефективності функціонування яких значною мірою залежить рівень інтеграції вітчизняної транспортної системи до європейського транспортного простору, а також конкурентоспроможність українських вантажних перевезень на міжнародному ринку транспортних послуг.

3.1 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Польщею

Польський напрямок є одним із ключових у системі міжнародних залізничних перевезень України. На українсько-польському кордоні функціонують переходи Ягодин – Дорогуськ, Ізов – Грубешів, Мостиська-2 – Медика та Рава-Руська – Верхрата, через які здійснюється основний обсяг залізничного сполучення між Україною та країнами Європейського Союзу.

Найважливішими переходами є Ягодин – Дорогуськ та Ізов – Грубешів. Перевагою переходу Ягодин – Дорогуськ є наявність суміщеної колії шириною 1520 мм та 1435 мм, що забезпечує ефективну взаємодію української та європейської залізничних систем. Через цей напрямок реалізується найкоротше сполучення між центральними та східними регіонами України і портами Балтійського моря.

Станція Ягодин (рисунок 3.2) є основною прикордонною станцією на напрямку Ягодин – Дорогуськ та забезпечує приймання, обробку і передачу міжнародних поїздів між Україною та Польщею. На станції виконуються митні та прикордонні

процедури, а також операції з перевантаження вантажів і перестановки вагонів на інший стандарт колії. Наявна інфраструктура дозволяє забезпечувати ефективну взаємодію залізничних систем України та країн Європейського Союзу.

Особливе значення має перехід Ізов – Грубешів, який забезпечує вихід на ширококоліїсну лінію LHS у Польщі. Завдяки можливості перевезення вантажів без перевантаження та перестановки вагонів цей напрямок характеризується високою ефективністю та відіграє важливу роль у перевезеннях сировинних вантажів до країн Центральної та Південно-Східної Європи.

Станція Ізов (рисунок 3.3) обслуговує прикордонний перехід Ізов – Грубешів та спеціалізується переважно на вантажних перевезеннях. Її значення визначається забезпеченням виходу на ширококоліїсну лінію LHS, що створює умови для прямого перевезення вантажів територією Польщі без додаткових операцій із перевантаження.

Перехід Мостиська-2 – Медика є одним із найбільш перспективних завдяки розвитку контейнерної інфраструктури та інтермодальних перевезень. Важливим фактором його розвитку стало створення сучасного контейнерного термінала «Мостиська», який забезпечує перевантаження між коліями різних стандартів та інтеграцію українських перевезень до європейської логістичної мережі.

Станція Мостиська-2 (рисунок 3.4) є одним із найважливіших прикордонних залізничних комплексів українсько-польського напрямку. На станції здійснюються прикордонний і митний контроль, перестановка вагонів та перевантаження вантажів між коліями різної ширини. Важливим елементом її інфраструктури є контейнерний термінал «Мостиська», який забезпечує розвиток інтермодальних перевезень.

Перехід Рава-Руська – Верхрата має стратегічне значення для подальшого розвитку міжнародного сполучення завдяки наявності колій двох стандартів та реалізації проєктів модернізації прикордонної інфраструктури.

Станція Рава-Руська (рисунок 3.5) виконує функції прикордонної перевантажувальної станції на напрямку Рава-Руська – Верхрата. Наявність колій шириною 1520 мм та 1435 мм забезпечує виконання операцій із передачі вагонів між залізницями суміжних держав. Станція розглядається як один із перспективних об'єктів для розвитку міжнародного пасажирського та вантажного сполучення.

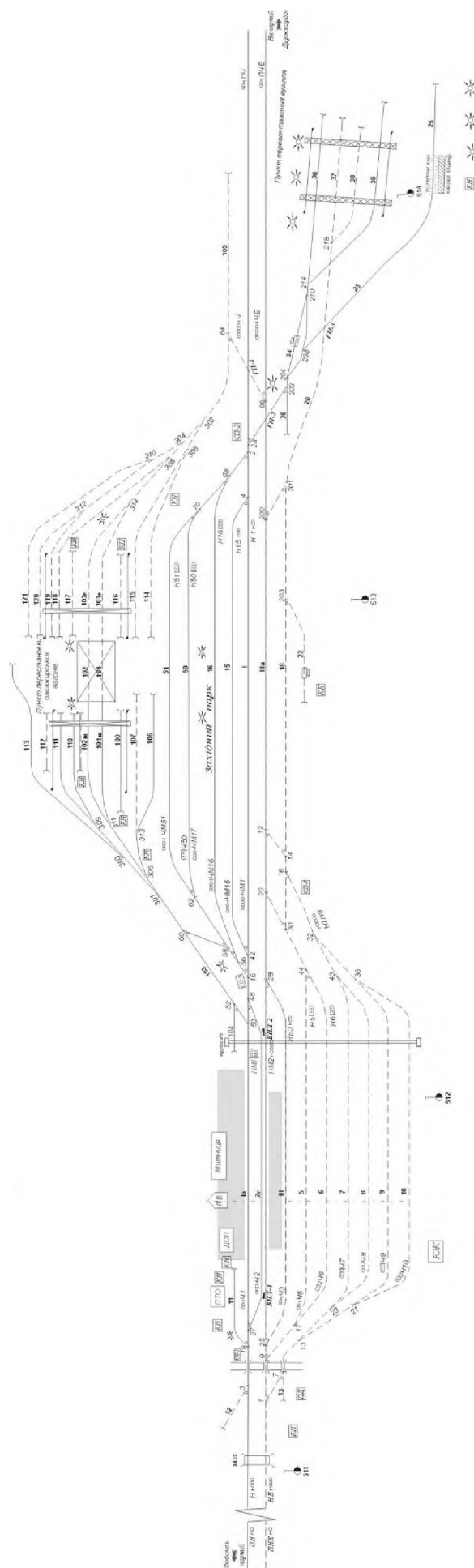


Рисунок 3.2 - Прикордоння залізнична станція Ягодин

Показник	Характеристика
Тип станції	проміжна, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
Навантаження та вивантаження вантажів з вагонів колії 1435 мм - на станції Ягодин, перестановку вагонів з вантажами, що прямують у безперевантажувальному сполученні на станції Ковель	

Ізов

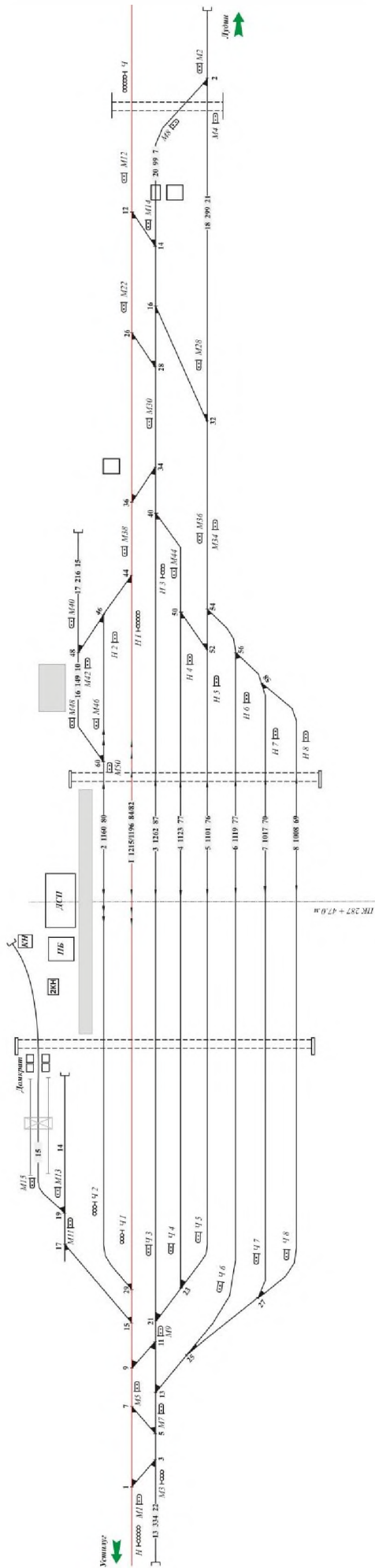


Рисунок 3.3 - Прикордоння залізнична станція Ізов

Показник	Характеристика
Тип станції	проміжна, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
На прикордонній станції Ізов, внаслідок різної ширини колії України та Польщі виконується перевантаження вантажів у вагони іншої ширини колії та їх передавання залізницям сусідньої країни	

Рава - Руська

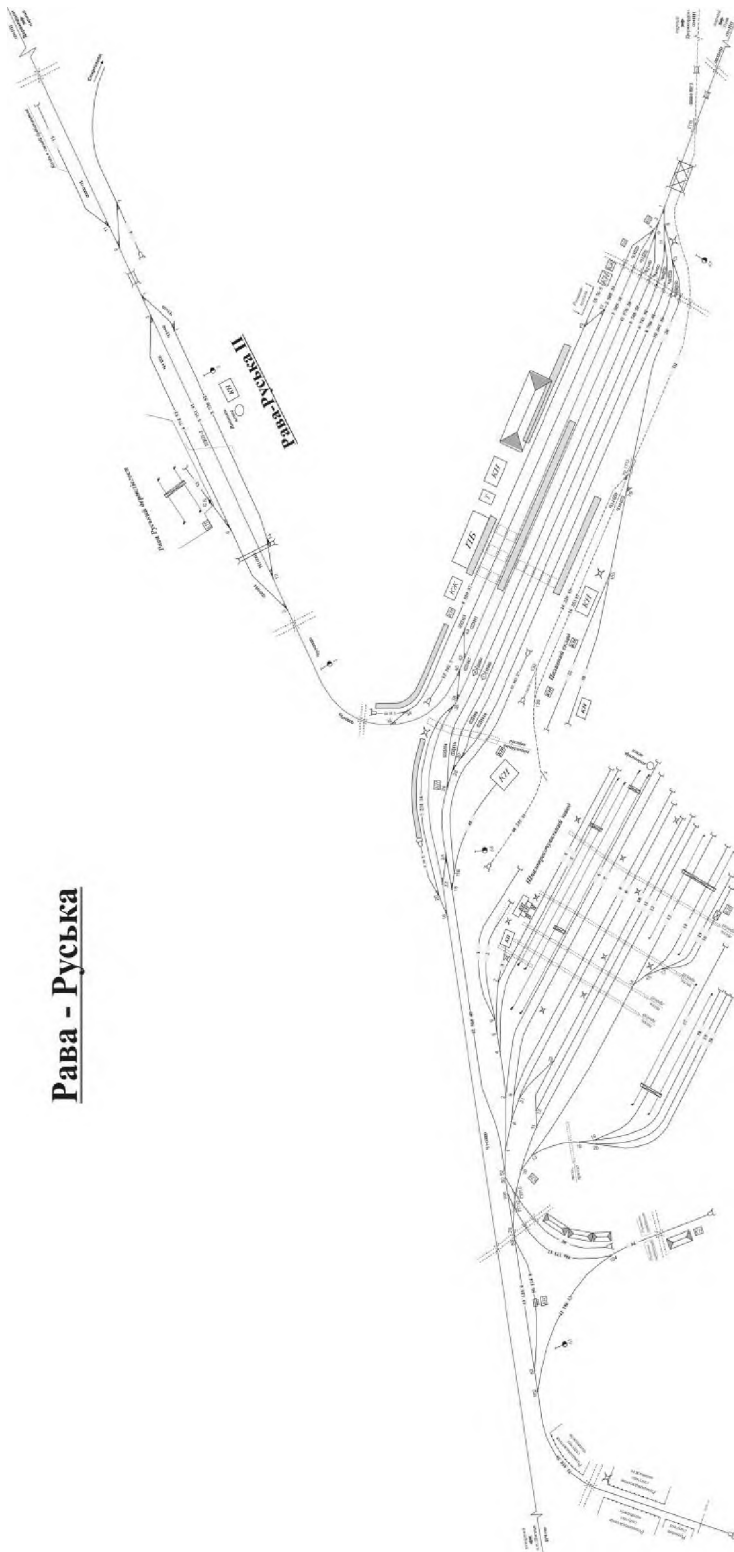


Рисунок 3.4 - Прикордоння залізнична станція Рава-Руська

Показник	Характеристика
Тип станції	вантажна, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
На прикордонній перевантажувальній станції Рава-Руська, внаслідок різної ширини колії України та Польщі виконується перестановки вагонів з візків колії ширини 1520 мм на візки колії ширини 1435	



Рисунок 3.5 - Прикордоння залізнична станція Мостиська-2

Показник	Характеристика
Тип станції	проміжна, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
Технологія переходу рухомого складу при зміні ширини колії 1520/1435 мм та навпаки на перетині Мостиська / Медика (Україна/Польща): перевантаження вантажів і застосування рухомого складу з візками системи SUW2000	

Для вагонів із вантажами, що перевозяться у безперевантажувальному сполученні в напрямку Польщі, застосовується технологія перестановки на візки іншої ширини колії. Виконання зазначених операцій здійснюється виключно після попереднього погодження з АТ «Укрзалізниця», що забезпечує координацію роботи прикордонної інфраструктури та раціональне використання наявних технологічних потужностей.

Отже, польський напрямок є пріоритетним для розвитку міжнародних залізничних перевезень України та має найбільший потенціал для подальшого зростання обсягів експортно-імпортних і транзитних перевезень.

3.2 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Словаччиною

Між Україною та Словацькою Республікою міжнародне залізничне сполучення здійснюється через переходи Чоп – Чієрна-над-Тісоу та Ужгород – Матевці. Для цього напрямку характерне переважання сировинних вантажів, насамперед залізничної продукції.

Перехід Ужгород – Матевці функціонує на основі ширококоліїної інфраструктури та забезпечує прямий пропуск вагонів колії 1520 мм до словацької станції Ганиська. Відсутність необхідності перевантаження або перестановки вагонів сприяє скороченню часу доставки та підвищенню ефективності перевізного процесу.

Станція Ужгород (рисунок 3.6) забезпечує функціонування міжнародного сполучення зі Словацькою Республікою через перехід Ужгород – Матевці. Станція виконує операції з перевантаження вантажів та передачі вагонів між залізничними адміністраціями двох держав. Її значення зумовлене участю у перевезенні сировинних і зернових вантажів до країн Центральної Європи.

Перехід Чоп – Чієрна-над-Тісоу є одним із найбільших міжнародних транспортних вузлів України. Його перевагою є використання колій двох стандартів, що забезпечує гнучкість логістичних схем та можливість обслуговування значних обсягів експортно-імпортних і транзитних вантажів.

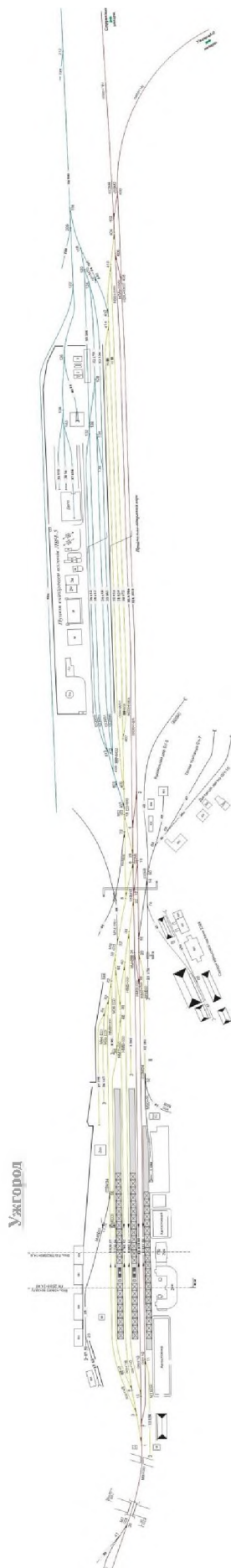


Рисунок 3.6 - Прикордонна залізнична станція Ужгород

Показник	Характеристика
Тип станції	проміжна, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
На прикордонній станції Ужгород, внаслідок різної ширини колії України та Словаччини виконується перестановки вагонів з візків колії ширини 1520 мм на візки колії ширини 1435 мм	

Станція Чоп (рисунок 3.7) є найбільшим прикордонним залізничним вузлом України та забезпечує взаємодію транспортних систем України, Словаччини, Угорщини та інших держав Центральної Європи. На станції здійснюються прикордонні та митні процедури, перевантаження вантажів і перестановка вагонів на колію іншого стандарту.

Словацький напрямок має важливе значення для транспортування рудних і зернових вантажів та забезпечує інтеграцію української транспортної системи з логістичними мережами Центральної Європи.

3.3 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Угорщиною

Українсько-угорський напрямок відіграє важливу роль у забезпеченні експорту аграрної продукції до країн Європейського Союзу. Найбільше значення мають переходи Чоп – Захонь та Батьово – Еперешке.

Перехід Чоп – Захонь забезпечує стабільні обсяги передачі вантажів та є важливою складовою міжнародних інтермодальних маршрутів між Україною та країнами Центральної Європи. Технологія роботи переходу передбачає перевантаження вантажів і перестановку вагонів на інший стандарт колії.

Перехід Батьово – Еперешке характеризується значними обсягами перевезення зернових вантажів та виконує функції одного з ключових логістичних вузлів українсько-угорського кордону. Інфраструктура переходу забезпечує виконання перевантажувальних операцій та обслуговування різних категорій вантажів.

Станція Батьово (рисунок 3.8) обслуговує прикордонний перехід Батьово – Еперешке та виконує функції вузлової вантажної станції українсько-угорського напрямку. Її інфраструктура забезпечує перевантаження вантажів, перестановку вагонів і здійснення контрольних процедур під час міжнародних перевезень.

Загалом угорський напрямок є важливим елементом системи міжнародних перевезень України та сприяє диверсифікації експортних маршрутів.



Рисунок 3.7- Прикордоння залізнична станція Чоп

Показник	Характеристика
Тип станції	Вузлова, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
На прикордонній перевантажувальній станції Чоп, внаслідок різної ширини колії України та Словаччини виконується перестановки вагонів з візків колії ширини 1520 мм на візки колії ширини 1435 мм	

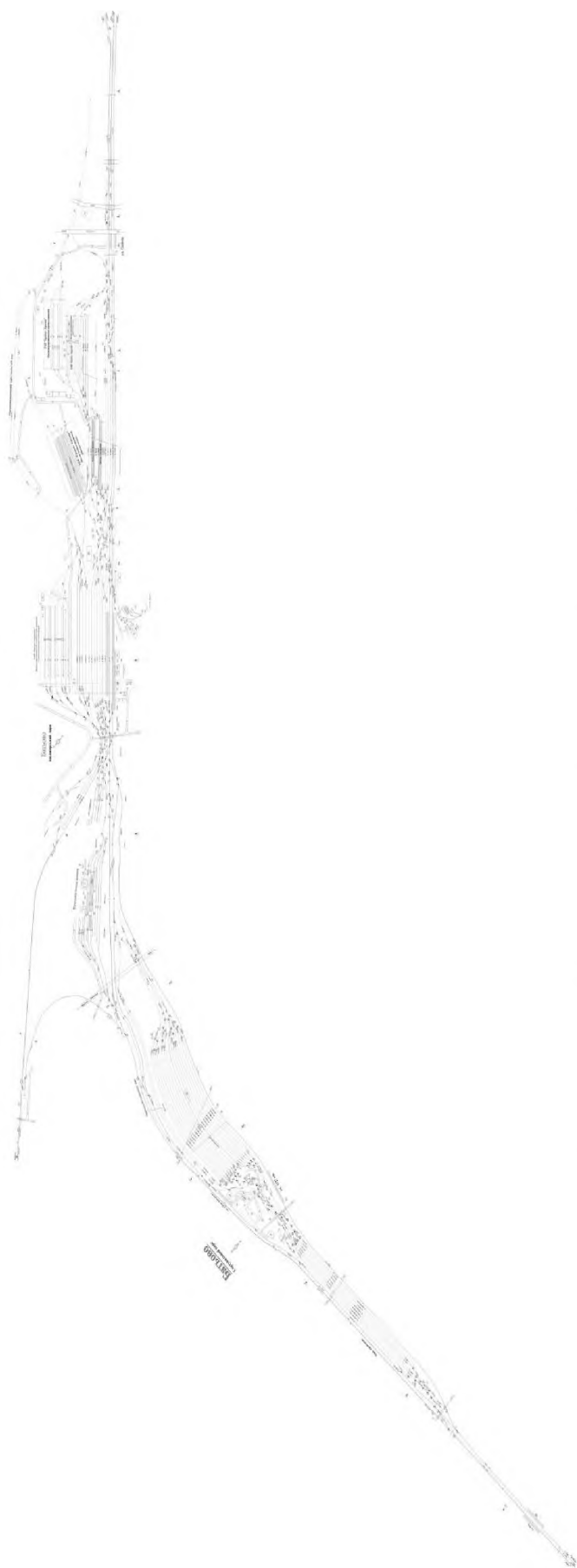


Рисунок 3.8 - Прикордоння залізнична станція Батьово

Показник	Характеристика
Тип станції	Дільнична, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
Можливості з перевантаження або перестановки на переході Батьово-Елєрешці	

3.4 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Румунією

Передача вантажів між Україною та Румунією здійснюється переважно через переходи Дякове – Халмеу та Вадул-Сірет – Дорнешти.

Перехід Дякове – Халмеу забезпечує взаємодію залізничних систем колії 1520 мм та 1435 мм і є важливим елементом міжнародних транспортних коридорів. Його значення визначається можливістю організації транзитних перевезень між Україною та країнами Центральної Європи.

Станція Дякове (рисунок 3.9) забезпечує роботу прикордонного переходу Дякове – Халмеу та виконує функції передачі вантажів між залізничними системами України та Румунії. Станція використовується також для організації транзитних перевезень у напрямку країн Центральної Європи.

Провідну роль у перевезеннях відіграє перехід Вадул-Сірет – Дорнешти, який забезпечує значний обсяг експорту української продукції до країн Європейського Союзу. Розвитку цього напрямку сприяє функціонування сучасної термінальної інфраструктури та зернових перевантажувальних комплексів.

Станція Вадул-Сірет (рисунок 3.10) є ключовим інфраструктурним об'єктом українсько-румунського напрямку. На станції здійснюються операції з перестановки вагонів, перевантаження контейнерів та обробки експортних вантажів. Її роль суттєво зросла завдяки розвитку сучасної термінальної інфраструктури та збільшенню обсягів аграрного експорту.

Перспективними залишаються також переходи Рахів – Валя-Вішеулуй і Тересва – Кимпулунг-ла-Тіса, однак їх значення для вантажних перевезень наразі обмежується інфраструктурними та технологічними чинниками.

Румунський напрямок є одним із ключових для забезпечення експорту аграрної продукції та розвитку альтернативних логістичних маршрутів України.

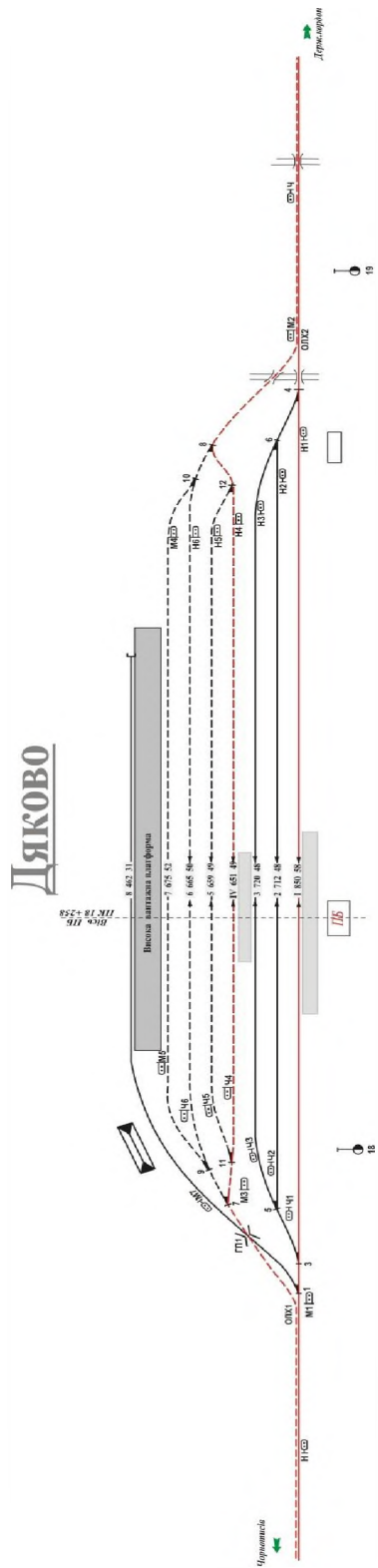


Рисунок 3.9 - Прикордоння залізнична станція Дяково

Показник	Характеристика
Тип станції	промїжна, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
На прикордонній перевантажувальній станції Дяково, внаслідок різної ширини колії України та Румунії виконується перестановка та перевантаження вантажів у вагони іншої ширини колії та їх передавання залізницям сусідньої країни	

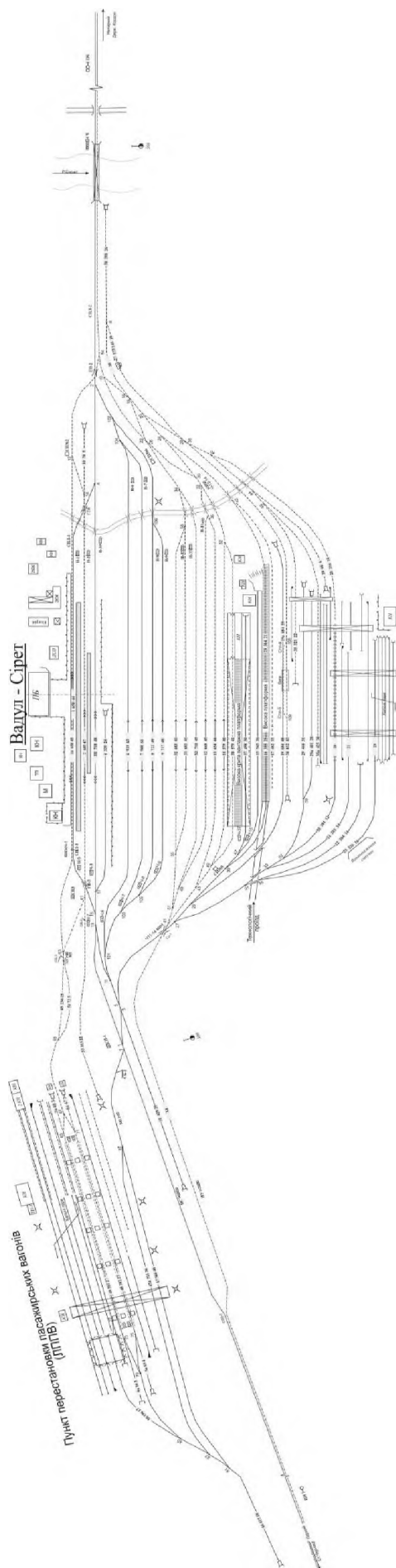


Рисунок 3.10 - Прикордонна залізнична станція Вадул-Сірет

Показник	Характеристика
Тип станції	сортувальна, прикордонна
Характер перевезень	пасажирський, вантажний
На прикордонній перевантажувальній станції Вадул-Сірет, внаслідок різної ширини колії України та Румунії виконується перестановка та перевантаження вантажів у вагони іншої ширини колії та їх передавання залізницям сусідньої країни	

3.5 Характеристика інфраструктури прикордонних залізничних переходів України із Молдовою

Молдовський напрямок посідає важливе місце в системі міжнародних перевезень України, забезпечуючи вихід до дунайських портів та додаткові можливості для організації зовнішньоторговельних перевезень.

Відновлення руху на дільниці Березине – Басарабська сприяло оптимізації маршрутів перевезення та підвищенню ефективності використання прикордонної інфраструктури. Основними діючими переходами є Сокиряни – Окниця, Могилів-Подільський – Велчинець та Серпневе-1 – Басарабська.

Раціональний розподіл вантажопотоків між цими переходами дозволив скоротити терміни доставки вантажів до дунайських портів Рені, Галац та Джурджулешти, а також знизити транспортні витрати вантажовласників.

Попри тимчасове припинення роботи окремих стиків через безпекові чинники, молдовський напрямок залишається важливим елементом міжнародної транспортної системи України та сприяє підвищенню її стійкості в умовах трансформації логістичних маршрутів.

Проведений аналіз показав, що прикордонні залізничні переходи України є ключовими елементами забезпечення міжнародних вантажних і пасажирських перевезень та інтеграції національної транспортної системи до європейського транспортного простору.

Найбільше значення мають переходи українсько-польського напрямку, через які проходить основна частина експортно-імпортних вантажопотоків. Важливу роль також відіграють словацькі переходи, що забезпечують перевезення без зміни ширини колії, а також угорські та румунські переходи, значення яких суттєво зросло внаслідок переорієнтації міжнародних логістичних маршрутів.

Встановлено, що основними чинниками підвищення ефективності міжнародних перевезень є модернізація прикордонної інфраструктури, розвиток контейнерних терміналів, електрифікація дільниць та впровадження інтермодальних технологій.

4 Підвищення ефективності використання інфраструктури прикордонних переходів при міжнародних перевезеннях

Як об'єкт прикладного моделювання обрано вузлову сортувальну станцію Чоп регіональної філії «Львівська залізниця». Вибір обґрунтовується тим, що станція розташована у місці перетину чотирьох магістральних ліній, одночасно експлуатує колії 1520 мм і 1435 мм, має діючий пункт перестановки вагонів і за даними таблиці 1.1 та рисунка 3.1 належить до найбільш завантажених переходів (понад 100 тис. ваг./рік на напрямку Чоп – Чірна-над-Тісоу). Це робить її репрезентативною для дослідження технології зміни ширини колії, на відміну від переходів зі сполученням без перевантаження (Ізов – Грубешів).

4.1 Технологія перестановки вагонів між коліями різних стандартів

Одним із традиційних способів організації міжнародних залізничних перевезень через пункти стикування колій різної ширини є заміна візків рухомого складу. Застосування такої технології дозволяє забезпечити безперервне переміщення вагонів між залізничними мережами стандартів 1520 мм та 1435 мм без виконання перевантаження вантажів.

Можливість використання даного способу визначається конструктивними характеристиками вагонів. Рухомий склад повинен відповідати вимогам щодо габаритів наближення споруд, параметрів гальмівного обладнання, допустимих осьових навантажень та інших технічних показників. Практика міжнародних перевезень свідчить, що найчастіше виконується адаптація вагонів колії 1520 мм до експлуатації на інфраструктурі європейського стандарту шляхом встановлення візків шириною 1435 мм. Використання вагонів європейського зразка на мережі українських залізниць обмежується низкою технічних невідповідностей, що унеможливають їх повноцінну експлуатацію без додаткової адаптації.

Для виконання операцій зі зміни візків на прикордонних залізничних станціях споруджуються спеціалізовані комплекси. Залежно від технології роботи вони

можуть обслуговувати виключно вантажні або пасажирські вагони, а також поєднувати обидва види операцій. За планувальними рішеннями такі комплекси виконуються у відкритому або закритому варіанті та можуть оснащуватися однією чи кількома робочими коліями.

Основою технологічного процесу є спеціально обладнана перестановочна колія комбінованого типу шириною 1510 мм. Її конструкція забезпечує можливість виконання операцій з вагонами обох стандартів колії. З обох кінців колія з'єднується зі станційними коліями через систему стрілочних переводів, а її конфігурація передбачає окремі підходи як для рухомого складу колії 1520 мм, так і для вагонів стандарту 1435 мм.

Кількість робочих місць на пункті перестановки визначає загальну довжину технологічної колії та його продуктивність. Кожна позиція обладнується комплектом підйомних механізмів (домкратів), які забезпечують підняття кузова вагона на необхідну висоту. Після цього здійснюється викочування візків одного стандарту та встановлення візків іншої ширини колії. Переміщення візків виконується за допомогою спеціальних тягових пристроїв, що дозволяє здійснювати операцію з мінімальними витратами часу та забезпечувати безпечне виконання робіт.

Технологічний процес перестановки вагонів між коліями різних стандартів розпочинається після прибуття поїзда на прикордонну станцію. На першому етапі виконується розформування состава із виділенням вагонів, що прямують у міжнародному сполученні. Вагони, призначені для подальшого руху через державний кордон, направляються до пункту перестановки, тоді як рухомий склад внутрішнього сполучення залишається на станційних коліях для подальшої обробки.

На перестановочній позиції кузов вагона піднімається за допомогою домкратних установок до висоти, необхідної для заміни ходових частин. Після цього візки колії 1520 мм викочуються із-під вагона за допомогою тягових пристроїв або електролебідок. Натомість із колій відстою подаються попередньо підготовлені візки стандарту 1435 мм, які підкочуються під кузов вагона. Після завершення операції вагон опускається на нові візки, виконується контроль правильності встановлення та технічного стану вузлів кріплення.

Типовий об'єднаний пункт перестановки вагонів являє собою комплекс взаємопов'язаних інженерних споруд і технічних пристроїв. До його складу входять перестановочні колії, підкранові колії, колії для накопичення та зберігання візків колії 1520 мм і 1435 мм, суміщені колії для технічного обслуговування та ремонту візків, а також для відстою окремих вагонів. Крім того, інфраструктура пункту включає тупикові колії для переміщення візків, тягові лебідки, ремонтні майстерні та інші допоміжні об'єкти, необхідні для забезпечення безперебійного виконання операцій із перестановки рухомого складу (рисунк 4.1).



1 – пункт перестановки вагонів, 2 – домкрати для підймання вагонів, 3 – козловий кран, 4 – ділянка зменшення ширини колії 1520-1510 мм, 5 ділянка колії 1510 мм з контррейками, 6 – ділянка збільшення ширини колії 1435-1510 мм з контррейками, 7 – підкранові колії козлового крану; 8 – ізольована суміщена

чотириохрейкова колія накопичення візків, 9 – суміщена чотириохрейкова колія накопичення візків з виходом на колію 1520 мм, 10 – козловий кран вагоноремонтного пункту, 11 – підкранова колія козлового крану.



Рисунок 4.2 – Схема заміни візків вантажних вагонів (для групи вагонів)

Для забезпечення виконання операцій із заміни візків пункти перестановки оснащуються комплексом спеціалізованого технологічного обладнання. Окрім домкратних установок, у їх складі використовуються мостові та козлові крани, системи подачі стисненого повітря, електромережі для підключення зварювального обладнання, а також інші технічні засоби, необхідні для обслуговування рухомого складу. Маневрова робота забезпечується локомотивами колії 1520 мм і 1435 мм, що дозволяє виконувати переміщення вагонів між технологічними позиціями незалежно від стандарту колії. Для підтримання безперервності виробничого процесу пункти перестановки забезпечуються запасними частинами, витратними матеріалами та ремонтною базою, а виробничі приміщення обладнуються системами примусової припливно-витяжної вентиляції.

На досліджуваній прикордонній станції Чоп операції із заміни візків виконуються за допомогою козлових кранів типу ККС-10 та стаціонарних електрифікованих домкратних установок вантажопідйомністю 30 т, що забезпечують необхідний рівень механізації технологічного процесу.

Застосування технології перестановки можливе лише для вагонів, які відповідають вимогам міжнародного сполучення та мають відповідне маркування «МС-0» або «МС-1». Належність до цього стандарту підтверджує відповідність рухомого складу встановленим габаритним параметрам, конструкції зчіпних пристроїв, елементів гальмової системи та іншим технічним вимогам, необхідним для експлуатації на залізницях різних стандартів колії.

У випадках, коли окремі характеристики вагона не повністю відповідають вимогам міжнародного сполучення, під час його включення до поїзда застосовуються спеціальні прикриття. Для цього з обох боків такого вагона розміщуються перехідні вагони, які забезпечують сумісність із рухомим складом різних залізничних систем. Крім того, під час виконання перестановки вантажних вагонів обов'язковою умовою є відповідність року виготовлення кузова вагона року випуску візків, що використовуються для подальшої експлуатації на колії іншого стандарту.

Процес заміни візків вантажних вагонів складається з окремих технологічних операцій, які умовно можна розподілити на окремі фази (рисунок 4.3).

Робота пункту перестановки візків організовується у повній відповідності з чинними правилами, інструкціями, вказівками й технологічним процесом заміни візків. Вони передбачають максимальне використання технічних засобів, наявних на пункті перестановки, повну завантаженість працівників, виконання планових завдань у мінімальний термін при високій якості та суворому дотриманні правил техніки безпеки.

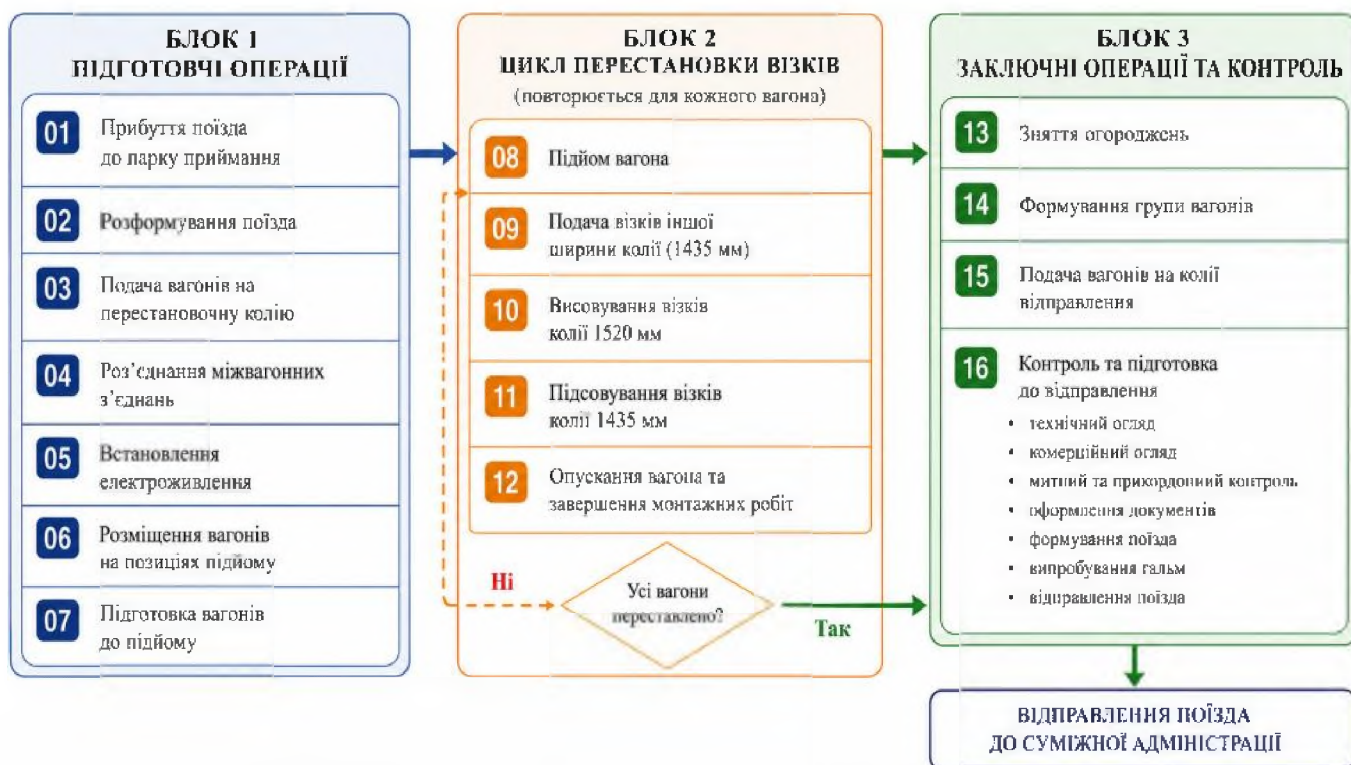


Рисунок 4.3 – Процес заміни візків вантажних вагонів

4.2 Формалізація технології обробки вагонів на прикордонній станції при зміні ширини колії

Суттєвий вплив на показники роботи пункту заміни візків має нерівномірність надходження поїздів на станцію та тривалість їх обробки. Ступінь нерівномірності появи поїздів та їх обробки, в свою чергу, має суттєве вплив на величину простою вагонів на станції, а також на потребу в основних пристроях. Числові характеристики інтервалів між моментами появи составів в парку станції та тривалість їх обслуговування визначається за допомогою методів математичної статистики.

До основних параметрів при відправлення поїзда відноситься: час огляду составу по відправленню, очікування технічного огляду, очікування локомотива та очікування відправлення. Тривалість простою в очікуванні локомотива та в очікуванні відправлення можна поєднати під загальною назвою – тривалість простою в очікуванні відправлення составу зі станції.

За результатами натурних спостережень (додаток А) для кожного параметра побудовано гістограму емпіричного розподілу та визначено математичне очікування

$\bar{x}$, дисперсію, середньоквадратичне відхилення σ і коефіцієнт варіації $v = \sigma/\bar{x}$. Зведені характеристики основних параметрів надано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведені характеристики основних параметрів

Параметр	v	Гіпотеза H_0	Критерій (d_f , $\alpha=0,05$)	Висновок
Інтервали прибуття	0,83	показниковий	χ^2 : 6,1 < 11,1 ($d_f=5$)	приймається
Обслуговування після приб.	0,65	Ерланга ($k=2$)	χ^2 : 8,4 < 11,1 ($d_f=5$)	приймається
Розформування	0,71	гамма	K-S: 0,11 < 0,14	приймається
Число вагонів у составі	0,35	нормальний	χ^2 : 5,2 < 9,5 ($d_f=4$)	приймається
Очікування тех. огляду	1,29	гіперекспоненц.	χ^2 : 7,8 < 9,5 ($d_f=4$)	приймається
Тривалість тех. огляду	0,41	нормальний	χ^2 : 6,0 < 9,5 ($d_f=4$)	приймається
Інтервали відправлення	0,27	детермінований	K-S: 0,09 < 0,13	приймається

Примітка: кількість інтервалів групування визначено за правилом Стерджеса; для кожного параметра наведено обсяг вибірки. Перевірку узгодження емпіричних розподілів із теоретичними виконано за критерієм χ^2 Пірсона, а для розподілів з малим числом інтервалів - за критерієм Колмогорова-Смирнова ($\alpha = 0,05$).

Результати аналізу часу накопичення составів поїздів наведено на рисунку 4.4. З зовнішнього вигляду гістограми (рисунок 4.4) часу накопичення составів поїздів можна висунути гіпотезу про показниковий закон розподілу величини, що спостерігається.

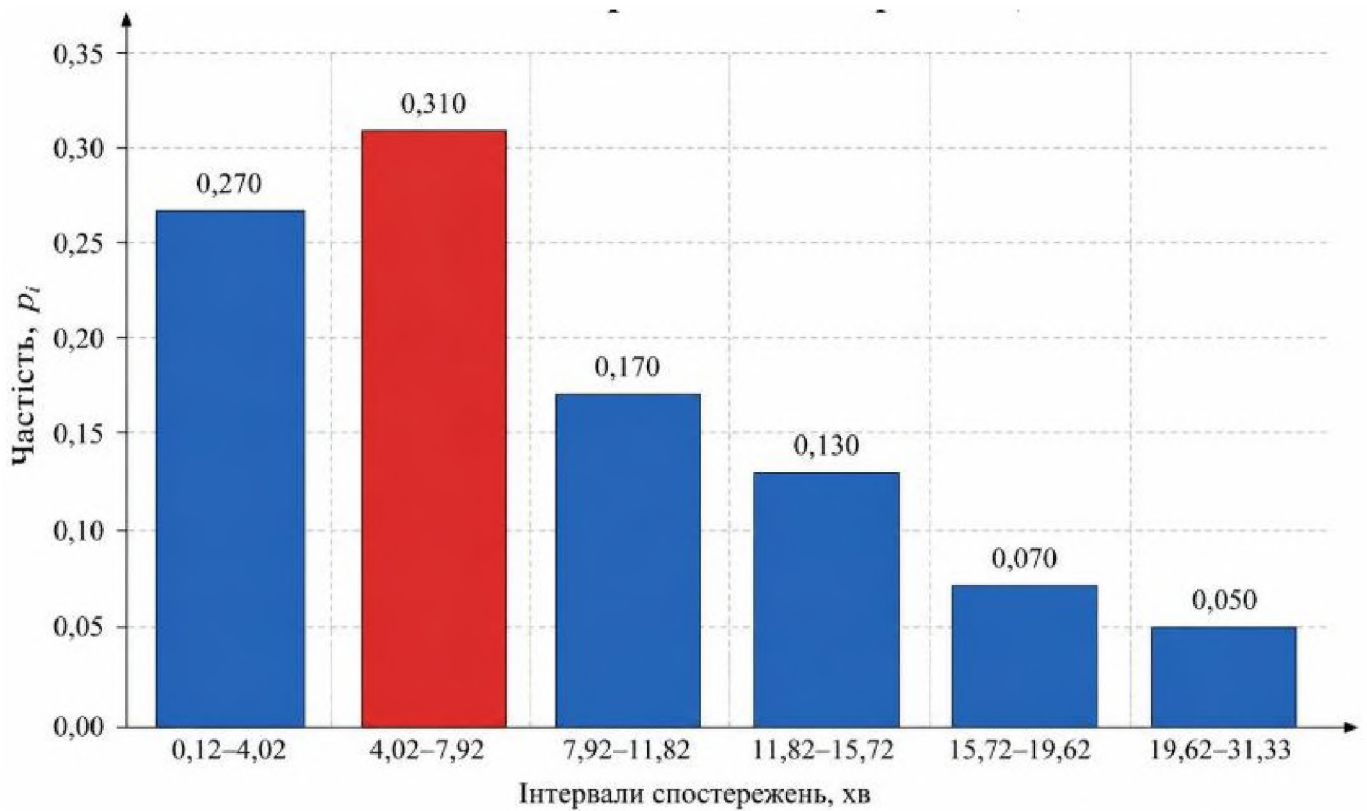


Рисунок 4.4 – Гістограма розподілу часу накопичення составів поїздів (год)

Таблиця 4.2 – Тривалість накопичення составу поїздів

$x_i - x_{i+1}$	x_{icp}	m_i	p'_i	$x_{icp} p'_i$	λx_i	$e^{-\lambda x}$	$F(x_i)$	p_i	np_i	$\frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$
0,12-4,02	2,07	27	0,27	0,56	0,066	0,936	0,064	0,36	144	0,444
4,02-7,92	5,97	31	0,31	1,85	0,220	0,802	0,198	0,225	90	0,100
7,92-11,82	9,87	17	0,17	1,68	0,120	0,887	0,113	0,140	56	0,161
11,82-15,72	13,77	13	0,13	1,79	0,213	0,808	0,192	0,088	35,2	0,956
15,72-19,62	17,67	7	0,07	1,24	0,147	0,863	0,137	0,054	21,6	0,896
19,62-23,52	}25,47	5	0,05	1,27	0,151	0,859	0,141	0,039 0,035	15,6	0,164 1,786
23,52-27,42										
27,42-31,33										
Всього		100	1,000	8,388	-	-	-	0,954	381,6	4,515

В таблиці 4.2 наведено результати визначення теоретичних частот та критерію погодження для підтвердження висунутої гіпотези про показниковий закон розподілу часу накопичення. За даними таблиці 4.2 середній час накопичення $\bar{x} = 8,388$ год, інтенсивність накопичення – 0,119 составів за годину.

Для підтвердження показникового закону проведено перевірку за критерієм погодження Пірсона χ^2 при $\chi^2_{\text{теор}} = 15,5$. Для підтвердження закону розподілу повинна виконуватися умова $\chi^2_{\text{теор}} > \chi^2_{\text{прак}}$. За розрахунками в таблиці 4.2 $\chi^2_{\text{прак}} = 4,515$, тобто умова виконується ($15,5 > 4,515$). Таким чином, гіпотеза про показниковий закон розподілу часу накопичення составів поїздів приймається на рівні значущості $\alpha = 0,05$ при числі ступенів свободи $d_f = k - 1 - p = 6 - 1 - 1 = 4$.

З метою підвищення ефективності організації міжнародних залізничних перевезень розроблено математичну модель, цільова функція якої відображає сукупні витрати, пов'язані з обробкою міжнародного вагонопотоку на прикордонній станції. Величина зазначених витрат визначається тривалістю перебування вагонів у межах прикордонної інфраструктури та враховує виконання операцій із заміни візків у пунктах перестановки при взаємодії залізничних систем із різною шириною колії. Запропонований підхід представлено у формі екстремальної задачі, спрямованої на мінімізацію експлуатаційних витрат під час здійснення обслуговування міжнародного вагонопотоку на прикордонній станції.

$$F(U) = U_1 + U_2 + U_3 + U_4 + U_5 \rightarrow \min, \quad (4.1)$$

де U_1 – витрати, пов'язані з накопиченням вагонів для формування i -го состава, грн;

U_2 – витрати на виконання операцій з формування i -го поїзда, грн

U_3 – витрати на проведення митного оформлення та технічного огляду i -го состава, грн;

U_4 – витрати, що виникають під час виконання маневрових пересувань із затриманими вагонами для i -го состава, грн;

U_5 – витрати на здійснення операцій із заміни візків вагонів у пункті перестановки при передачі состава i -го призначення через прикордонний перехід, грн.

Відповідно до прийнятої технології роботи прикордонної станції зазначені складові витрат розглядаються як незалежні одна від одної. За таких умов зниження величини кожної окремої складової забезпечуватиме скорочення загальних експлуатаційних витрат, що формують цільову функцію моделі. Оскільки кожен елемент цільової функції визначається впливом різних техніко-технологічних параметрів і експлуатаційних факторів, розглянемо їх детальніше.

Витрати, пов'язані з накопиченням вагонів для формування i -го состава

$$U_1 = 0,5e_{\text{вг}}m_{\text{опт}}t_{\text{н}}(m)K_{\text{пр}}, \quad (4.2)$$

де $e_{\text{вг}}$ – вартість однієї вагоно-години, грн;

$t_{\text{н}}$ – тривалість накопичення одного состава, год;

$m_{\text{опт}}$ – оптимальний склад составу, ваг.

Витрати на виконання операцій з формування i -го поїзда методом осаджування

$$U_2 = e_{\text{вг}}m_{\text{опт}} \left[2P_{\text{ос}}(m)t_{\text{манв}} + 0,06l_{\text{вк}} \left(\frac{1}{v_{\text{ос}}} + \frac{1}{v_{\text{л}}} \right) \right] \quad (4.3)$$

де $P_{\text{ос}}$ – середня кількість операцій осаджування на i -тий состав;

$t_{\text{манв}}$ – тривалість маневрового напіврейсу заїзду на колію (та повернення), год;

$l_{\text{вк}}$ – середня довжина «вікна» на один вагон для i -того составу, м;

$v_{\text{ос}}$ – швидкість осаджування, км/год;

$v_{\text{л}}$ – швидкість руху окремого локомотива по колії під час його повернення на гірку після виконання осаджування, км/год

Витрати на проведення митного оформлення та технічного огляду i -го состава

$$U_3 = e_{\text{вг}}m_{\text{опт}}(\tau_{\text{обсл}} + W_q^{\text{обсл}}(m))k_{\text{гр}}, \quad (4.4)$$

де $\tau_{обсл}$ – норма часу на виконання огляду вагона (технічного, комерційного та митного) з урахуванням трудомісткості безвідчіпного ремонту, год.

$k_{гр}$ – кількість груп в бригаді, що проводить огляд i -того составу.

$W_q^{обсл}(m)$ – середній час очікування технічного огляду, год

Рівень обслуговування міжнародного вагонопотоку на станції заліжить від прийнятої технології організації маневрової роботи із вагонами, затриманими для виконання митних процедур. Рациональна технологія виконання таких операцій повинна забезпечувати мінімізацію експлуатаційних витрат і скорочення непродуктивних простоїв рухомого складу при здійсненні всього комплексу технологічних заходів, пов'язаних з обслуговуванням затриманих вагонів.

У процесі обробки зазначеної категорії вагонів виникає необхідність виконання додаткових маневрових операцій: відчеплення від составу поїзда, переміщення на спеціалізовані колії накопичення або очікування, повернення до составу після завершення митного контролю. Це призводить до додаткових витрат локомотиво-годин, збільшення зайнятості станційної інфраструктури, зростання загальних експлуатаційних витрат, що потребує їх урахування під час оцінки ефективності обслуговування міжнародного вагонопотоку

$$U_4 = e_{вг} m_{опт} \rho_{затр} W_q^{затр}(m), \quad (4.5)$$

де $\rho_{затр}$ – частка составу, що затримується, при виконанні операцій пов'язаних з обслуговуванням експортно-імпортного вагонопотоку;

$W_q^{затр}(m)$ – середній час затримки, год

З урахуванням технологічних особливостей функціонування прикордонної станції важливою складовою є виконання операцій із заміни візків вагонів під час переходу між залізничними системами з різною шириною колії. На станції здійснюється перестановка вагонів з колії 1520 мм на колію стандарту 1435 мм, так і у зворотному напрямку.

Виконання зазначених технологічних операцій потребує залучення спеціалізованого обладнання, маневрових засобів, виробничого персоналу та

відповідної інфраструктури пункту перестановки візків. Тому для оцінки ефективності роботи прикордонної станції необхідно враховувати витрати, пов'язані з виконанням операцій із заміни візків. Вони формують окрему складову загальних експлуатаційних витрат та безпосередньо впливають на тривалість перебування міжнародного вагонопотоку на станції та пропускну спроможність прикордонного переходу.

$$U_5 = \frac{e_{вг} m_{опт} \vartheta_{пер} t_{пер}}{Z}, \quad (4.6)$$

де $\vartheta_{пер}$ – частка составу, вагони якої переставляються на пункті перестановки візків при обслуговуванні міжнародного вагонопотоку з колії 1520 мм на колію 1435 мм та навпаки;

$t_{пер}$ – тривалість часу, який витрачається на один вагон при його перестановці.

Z – кількість обслуговуючих пристроїв, що задіяні в перестановці вагонів i –того составу.

Детальний аналіз складових (4.2)-(4.6) показує, що цільова функція є нелінійною, оскільки низка її параметрів залежить від керованого параметра m та від завантаження підсистем:

– тривалість накопичення зростає зі збільшенням довжини составу, тому складова U_1 має квадратичний за m характер;

– кількість операцій осаджування $P_{oc}(m)$ пропорційна довжині составу (обмеження $0 < P_{oc} \leq \frac{m_c}{m_{гр}} - 1$), тому складова U_2 також містить квадратичний за m член;

– тривалості очікування у підсистемах митного огляду й затримки є часом очікування в черзі, який згідно з теорією масового обслуговування нелінійно залежить від завантаження ρ та коефіцієнтів варіації ν з таблиці 4.1.

Таким чином, результати статистичних досліджень, що наведені в додатку А, є робочими параметрами для оптимізації. При наближенні завантаження до одиниці ($\rho \rightarrow 1$) час очікування зростає необмежено. При цьому темп зростання тим більше, чим більший коефіцієнт варіації

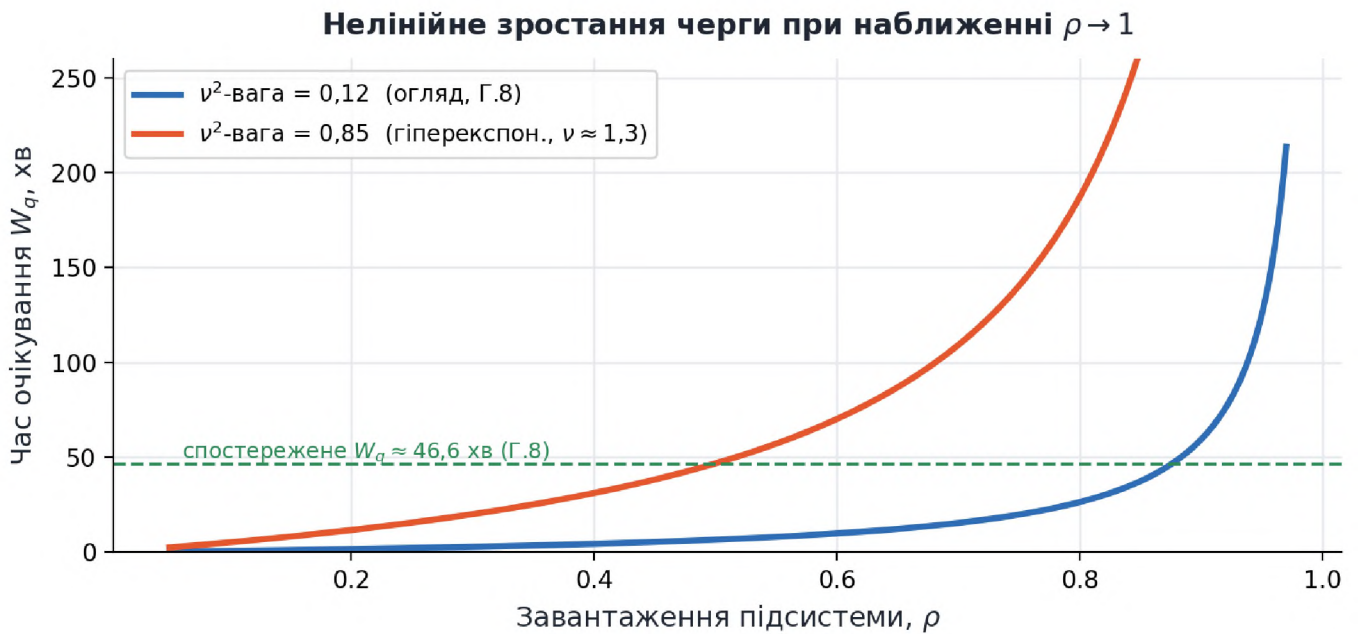


Рисунок 4.5 – Нелінійна залежність часу очікування $W_q^{\text{затр}}(m)$ від завантаження ρ та коефіцієнта варіації

Залежності керованих величин від довжини состава

$$t_{\text{нак}}(m) = \alpha m, \quad (4.7)$$

$$P_{oc}(m) = \frac{m}{m_{\text{гр}}} - 1, \quad (4.8)$$

Кожну підсистему j подаємо як СМО типу $G/G/c$. Її завантаження визначається інтенсивністю надходження составів λ_j та середнім часом обслуговування $\bar{t}_j$.

$$\rho_j(m) = \frac{\lambda_j t_j}{c_j} = \frac{N t_j}{c_j T m} \quad (4.9)$$

де N - добовий міжнародний вагонопотік, ваг./добу;
 T - загальна тривалість роботи ($T = 1440$ хв;
 c_j - кількість обслуговуючих пристроїв підсистеми.

Зі збільшенням m формується менше поїздів, тому λ_j і ρ_j знижуються. Середній час очікування визначається за апроксимацією Аллена-Кунніна, що є узагальненням формули Поллачека-Хінчина на G/G/c:

$$W_q^j(m) = \frac{\rho_j(m) \sqrt{2(c_j+1)} - 1}{c_j(1-\rho_j(m))} \cdot \frac{v_{a,j}^2 + v_{s,j}^2}{2} t_j \quad (4.10)$$

де $v_{a,j}^2$ та $v_{s,j}^2$ - коефіцієнти варіації інтервалів надходження та часу обслуговування підсистеми (додаток А).

Підставляючи $t_{\text{нак}}(m)$, $P_{oc}(m)$ та нелінійні часи очікування $W_q^j(m)$ у складові (4.2) - (4.6), отримуємо нелінійну цільову функцію загальних витрат, пов'язаних із знаходження вагонів міжнародного призначення на станції при накопиченні та формуванні поїздів у явному вигляді зі збереженням усіх техніко-технологічних параметрів:

$$F(U) = e_{\text{вг}} m_{\text{опт}} \left[\frac{t_n(m) K_{\text{пр}}}{2} + 2P_{oc}(m) t_{\text{манв}} + 0,06 l_{\text{вк}} \left(\frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_l} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\tau_{\text{обсл}} + W_q^{\text{обсл}}(m)}{k_{\text{гр}}} + \rho_{\text{затр}} W_q^{\text{затр}}(m) + \frac{\vartheta_{\text{пер}} t_{\text{пер}}}{Z} \right] \rightarrow \min, \quad (4.11)$$

З урахуванням усіх замін

$$F(U) = e_{\text{вг}} m_{\text{опт}} \left[\frac{\alpha m K_{\text{пр}}}{2} + 2 \left(\frac{m}{m_{\text{гр}}} - 1 \right) t_{\text{манв}} + 0,06 l_{\text{вк}} \left(\frac{1}{v_{oc}} + \frac{1}{v_l} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\tau_{\text{обсл}} + \frac{\rho_j(m) \sqrt{2(c+1)} - 1}{c_j(1-\rho_j(m))} \cdot \frac{v_{a,j}^2 + v_{s,j}^2}{2} t_j}{k_{\text{гр}}} + \rho_{\text{затр}} \frac{\rho_j(m) \sqrt{2(c+1)} - 1}{c_j(1-\rho_j(m))} \cdot \frac{v_{a,j}^2 + v_{s,j}^2}{2} t_j + \frac{\vartheta_{\text{пер}} t_{\text{пер}}}{Z} \right] \rightarrow \min, \quad (4.12)$$

Система обмежень, що відповідає технологічним та технічним умовам

$$\begin{cases} m_{\text{опт}}^{\min} \leq m_{\text{опт}} \leq m_{\text{опт}}^{\max}; \quad m_{\text{опт}} - \text{ціле}; \\ 0 \leq \rho_{\text{затр}} \leq 1; \quad 0 \leq \vartheta_{\text{пер}} \leq 1 \\ 0 < P_{\text{ос}} \leq \frac{m_c}{m_{\text{гр}}} - 1; \\ v_{\text{ос}} \leq 5; \quad v_{\text{л}} \leq 40; \quad 0 \leq l_{\text{вік}} \leq 5; \\ k_{\text{гр}} \leq 3; \quad 0,45 \leq \psi_{\text{гр}} \leq 0,85, \\ \rho_j(m) < 1, \quad m > m_{\min} = \max \frac{Nt_j}{c_jT} \end{cases} \quad (4.13)$$

Цільова функція моделі (4.12) характеризується нелінійною залежністю від керованих параметрів, оскільки окремі складові функціонала витрат описуються нелінійними математичними залежностями між кількістю вагонів у составі, тривалістю їх обробки та експлуатаційними витратами.

Додатковою особливістю задачі є те, що змінна m , яка характеризує кількість вагонів у составі, може набувати лише цілих значень. Використання дробових значень для даного параметра не має фізичного змісту, оскільки кількість вагонів є дискретною величиною. У зв'язку з цим задача оптимізації належить до класу задач частково-цілочисельного нелінійного програмування, у яких частина змінних є неперервними, а частина - цілочисельними.

Для пошуку оптимального рішення застосовується метод спрямованого перебору. Сутність цього методу полягає у послідовному аналізі допустимих значень цілочисельної змінної m з урахуванням встановлених обмежень моделі та обчисленні значення цільової функції для кожного варіанта. На кожному кроці виконується перевірка допустимості розв'язку та оцінка величини експлуатаційних витрат. Завдяки опуклості цільової функції процес пошуку може бути організований таким чином, щоб виключати завідомо неоптимальні варіанти та зменшувати обсяг обчислень. Оптимальним вважається той варіант, для якого значення цільової функції досягає мінімуму за виконання всіх технологічних та експлуатаційних обмежень моделі.

Розрахунок цільової функції виконано для діапазону $m = 35 \dots 80$ ваг. за параметрами таблиць 4.1 ($\bar{t}_{\text{огл}} = 55,06$ хв, $v_a = 0,83$, $v_s = 0,41$, $c = 1$), добового вагонопотоку $N \approx 900$ ваг./добу та орієнтовної вартості вагоно-години.

Чисельне дослідження цільової функції (4.13) у межах області стійкості ($\rho_j(m) < 1$) показало її унімодалність: функція має єдиний мінімум. Складові $U_1 + U_2$ (накопичення і формування) зростають зі збільшенням m , тоді як складові $U_3 + U_4$ (огляд і затримка), що містять нелінійні часи очікування, стрімко зростають при наближенні до межі стійкості та спадають у міру зниження завантаження.

Умова стійкості ($\rho_j(m) < 1$) задає нижню межу $m_{\min} \approx 34$ ваг.: нижче за неї підсистема технічного огляду перевантажується ($\rho \rightarrow 1$) і витрати зростають лавиноподібно. Мінімум сукупних витрат досягається за $m^* \approx 45$ вагонів. У точці оптимуму завантаження підсистеми огляду $\rho_{\text{огл}} \approx 0,75$, тобто з достатнім запасом нижче за нормативну межу 0,85, а розрахунковий час очікування (≈ 53 хв) узгоджується зі спостереженням у таблиці 4.1. (46,6 хв).

Результат із розкладанням за складовими U_1-U_5 наведено на рисунку 4.6.

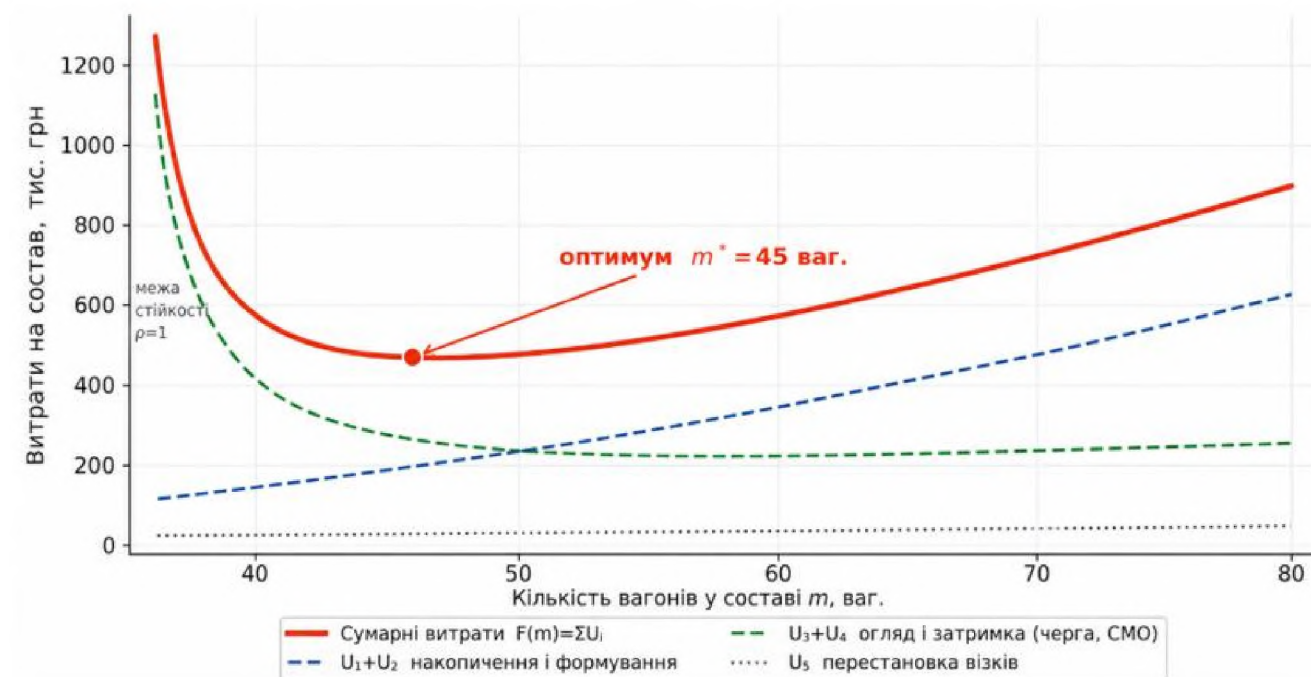


Рисунок 4.6 – Результати визначення експлуатаційних витрат

Аналіз чутливості оптимуму. Оскільки вартість вагоно-години є спільним множником цільової функції, а складова U_5 не залежить від m , оптимум m^* визначається співвідношенням складових накопичення/формування та черг і чутливий насамперед до добового вагонопотоку N та числа обслуговуючих пристроїв c , але інваріантний до $e_{вг}$ та $t_{пер}$.

Таблиця 4.3 - Аналіз чутливості оптимальної довжини состава

Сценарій (зміна параметра)	N , ваг./добу	m^* , ваг.	Коментар
Базовий	900	45	$\rho_{огл} \approx 0,75$
Зниження потоку -20%	720	≈ 40	запас стійкості зростає
Зростання потоку $+20\%$	1080	≈ 50	наближення до межі 0,85
$e_{вг} \pm 30\%$	900	45	оптимум не зміщується
$t_{пер} \pm 25\%$	900	45	впливає на витрати, не на m^*
$c = 2$ (огляд)	900	≈ 42	усунення вузького місця

Верифікація моделі. Для перевірки коректності аналітичної апроксимації Аллена-Кунніна реалізовано дискретно-подієву імітаційну модель станції (середовище Python, бібліотека SimPy) на тих самих емпіричних розподілах (Додаток А). Розбіжність між аналітично розрахованим середнім часом очікування $W_q \approx 53$ хв та результатом імітації (≈ 50 хв при 10 прогонах по 30 діб) не перевищила 6 %, що підтверджує адекватність аналітичної моделі та правомірність її застосування для пошуку оптимуму m^* .

Проведені статистичні дослідження підтвердили стохастичний характер процесів обробки міжнародного вагонопотоку: інтервали прибуття наближено підпорядковуються пуассонівському закону, час накопичення — показниковому розподілу (підтверджено критерієм Пірсона). Розроблена нелінійна оптимізаційна модель має єдиний глобальний мінімум при довжині состава близько 45 вагонів, що забезпечує збалансоване завантаження підсистем і мінімізацію сукупних витрат.

4.3 Визначення змін основних показників роботи прикордонної станції

Знаходження на станції транзитного вагона з переробкою визначається методом табличного моделювання $t_{\text{тр}}^{3/\text{п}}$. Слід чітко розмежувати дві оцінки часу. Аналітична модель СМО (п. 4.2) визначає середній час очікування W_q у межах окремої підсистеми (зокрема технічного огляду, $W_q = 53$ хв) і використовується для пошуку раціональної довжини состава m^* . Натомість табличне моделювання (п. 4.3) визначає повний час перебування транзитного вагона $t_{\text{тр}}^{3/\text{п}}$. Таким чином, W_q з п. 4.2 є складовою величини простій у парку відправлення загального балансу часу $t_{\text{тр}}^{3/\text{п}}$, а не альтернативною оцінкою. Обидва методи доповнюють один одного, описуючи різні рівні деталізації технологічного процесу

Знаходження на станції транзитного вагона з переробкою $t_{\text{тр}}^{3/\text{п}}$ визначається методом табличного моделювання за формулою

$$t_{\text{тр}}^{3/\text{п}} = t_{\text{пп}} + t_{\text{розф}} + t_{\text{нак}} + t_{\text{форм}} + t_{\text{пв}}, \quad (4.14)$$

Середній простій составів t хв. в парку прибуття визначається як

$$t = \frac{J_p(\sum n_{\text{зал}} - n_n)}{\sum n_{\text{роз}} + n_{\text{п}} - n_{\text{к}}}, \quad (4.15)$$

де $\sum n_{\text{зал}}$ – сума залишку составів, які переходять на початок кожного розрахункового інтервалу, (визначаємо в таблиця 4.4, гр.6);

J_p – розрахунковий інтервал виведення составів з парку;

$\sum n_{\text{роз}}$ – кількість составів, які пройшли через парк за добу без урахування кутових і місцевих передач;

$n_n, n_{\text{к}}$ – залишки составів, що переходять відповідно на початок і кінець доби.

Розрахунок тривалості простою вагонів по прибутті на станцію ($t_{\text{пп}}$) наведено в таблиці 4.4

Таблиця 4.4 – Визначення часу знаходження составів у парку прибуття

Номер розрахунков ого інтервалу	Межі розрахунков их інтервалів	Кількість составів, що надійшли за розрахунковий інтервал $\Sigma n_{роз\ рах}$	Кількість составів, що підлягають виведенню	Залишок составів на наступний розрахунковий інтервал $n_{зал}$
	20.00			1
1	20.00–21.20	–	1	–
2	21.20–22.40	1	2	1
3	22.40–0.00	1	3	2
4	0.00–1.20	1	2	1
5	1.20–2.40	1	2	1
6	2.40–4.00	1	2	1
7	4.00–5.20	–	2	1
8	5.20–6.40	2	3	2
9	6.40–8.00	1	3	2
10	8.00–9.20	–	2	1
11	9.20–10.40	1	2	1
12	10.40–12.00	1	2	1
13	12.00–13.20	1	2	1
14	13.20–14.40	1	2	1
15	14.40–16.00	1	2	1
16	16.00–17.20		2	3
17	17.20–18.40		1	2
18	18.40–20.00		–	1
			13	

Таким чином, середній простій составів (вагонів) t хв. в парку примання

$$t_{пп} = \frac{(20-1) \cdot 77}{13+1} = 104,5 \text{ хв. що відповідає } 1,7 \text{ год.}$$

Простій вагонів під накопиченням $t_{нак}$ (год.) визначається як частка від ділення суми вагоно-годин накопичення на загальну кількість транзитних вагонів з переробкою $N_{пер}$ і місцевих N_m

$$t_{нак} = \frac{K \Sigma t + 10 \Sigma \frac{N}{n}}{N_{пер} + N_m} \quad (4.16)$$

де K – кількість призначень наскрізних, дільничних і порожніх поїздів, що формуються;

C – параметр накопичення, який визначається залежно від кількості призначень поїздів, що формуються;

m – середній состав поїздів, що формуються;

N – середньодобові вагонопотоки кожного призначення збірних, вивізних, передавальних поїздів;

n – кількість поїздів кожного призначення, що формуються за добу, відповідно збірних, вивізних, передавальних і кутових.

Час накопичення визначається як

$$C = 12(1 - B \frac{m_{\text{ван}}}{m_{\text{відпр}}^{\phi}), \quad (4.17)$$

де $m_{\text{відпр}}^{\phi}$ – середній состав поїзда, що відправляється, вагонів;

B – коефіцієнт, що залежить від допустимого коливання розміру составів, які відправляються.

$m_{\text{ван}}$ – середня величина групи накопичення составів певного призначення.

Середня величина групи накопичення составів певного призначення в свою чергу розраховується як

$$m_{\text{ван}} = \frac{m_{\text{пр}} \sqrt{N_i}}{(3,1 + 0,014 N_i) K}, \quad (4.18)$$

де $m_{\text{пр}}$ – середня величина состава, що прибуває на станцію;

N_i – середньодобовий вагонопотік призначень;

$$m_{\text{ван}} = \frac{53,3 \cdot \sqrt{706}}{(3,1 + 0,014 \cdot 706) \cdot 7} = 16 \text{ ваг.}$$

$$C = 12 \cdot (1 - 0,7 \cdot \frac{16}{60}) = 9,7$$

$$t_{\text{нак}} = \frac{7 \cdot 9,7 \cdot 53,3 + 10 \cdot \frac{706}{15}}{706 + 16} = 5,7 \text{ год}$$

Технологічний час на закінчення формування поїздів з використанням двох колій накопичення вагонів можна визначити як

$$t_{\text{зф}} = t_{\text{ПТЕ}}^{\text{гол}} + t_{\text{ПТЕ}}^{\text{хв}} + t_{\text{підт}}, \quad (4.19)$$

де $t_{\text{ПТЕ}}^{\text{гол}}$ – час на підформування головної групи (розставлення вагонів відповідно до вимог Правил технічної експлуатації), хв.;

$t_{\text{ПТЕ}}^{\text{хв}}$ – час на підформування хвостової групи, хв.

З урахуванням часу на перестановку, час на підформування головної групи поїздів розраховується за формулою

$$t_{\text{ПТЕ}}^{\text{гол}} = Ж + I + n_{\text{ф}}^{\text{гол}}, \quad (4.20)$$

де $n_{\text{ф}}^{\text{гол}}$ – середня величина головної групи вагонів, 28 ваг.

Час на підформовування хвостової групи розраховується за формулою:

$$t_{\text{ПТЕ}}^{\text{хв}} = B + E \cdot n_{\text{ф}}^{\text{хв}}, \quad (4.21)$$

де $n_{\text{ф}}^{\text{хв}}$ – середня величина хвостової групи вагонів, 27 ваг.

Час, необхідний на підтягування вагонів зі сторони витяжної колії для ліквідації «вікон» на сортувальних коліях, розраховується за формулою

$$t_{\text{підт}} = 0,08 n_{\text{ф}} \quad (4.22)$$

Нормативні коефіцієнти $Ж = 3,78$, $I = 0,552$, $B = 2,88$, $E = 0,18$ визначаються залежно від середньої кількості операцій ρ_0 для кожної групи, необхідних для розставлення вагонів відповідно до вимог Правил технічної експлуатації

«Методичних вказівок з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті».

$$\text{Тоді } t_{\text{ПТЕ}}^{\text{гол}} = 3,78 + (0,552 \cdot 30) = 20,3 \text{ хв.},$$

$$t_{\text{ПТЕ}}^{\text{хв}} = 2,88 + (0,18 \cdot 27) = 7,7 \text{ хв.}$$

$$t_{\text{підг}} = 0,08 \cdot 57 = 4,6 \text{ хв.},$$

$$t_{\text{зф}} = 20,3 + 7,7 + 4,6 = 32,6 \text{ хв, що відповідає 0,6 год.}$$

Час перебування вагонів у парку відправлення визначається шляхом порівняння інтенсивності надходження составів свого формування й транзитних в парк та темпу їх відправлення з урахуванням тривалості підготовки составів до відправлення працівниками пункту технічного огляду та станційним технологічним центром. Розрахунок часу знаходження вагонів у парку відправлення виконується в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок часу знаходження вагонів у парку відправлення

Номер розрахункових інтервалів	Межі розрахункових інтервалів	Кількість составів, що надійшли за розрахунковий інтервал $\sum n_{\text{розрах}}$	Кількість составів, що підлягають виведенню	Залишок составів на наступний розрахунковий інтервал $n_{\text{зали}}$
	20.00			2
1	20.00–21.12	1	3	2
2	21.12–22.24	–	2	1
3	22.24–23.36	1	2	1
4	23.36–0.48	1	2	1
5	0.48–2.00	1	3	2
6	2.00–3.12	1	3	2
7	3.12–4.24	1	3	2
8	4.24–5.36	–	2	1
9	5.36–6.48	2	3	2
10	6.48–8.00	–	2	1
11	8.00–9.12	1	2	1
12	9.12–10.24	2	3	2
13	10.24–11.36	–	2	1

14	11.36–12.48	1	2	1
15	12.48–14.00	1	3	2
16	14.00–15.12	1	3	2
17	15.12–16.24	–	3	2
18	16.24–17.36	1	3	2
19	17.36–18.48	1	4	3
20	18.48–20.00	–	3	2
		16		35

Середній простій у парку відправлення $t = \frac{(35-2) \cdot 80}{16-2+2} = 165$ хвилин або 2,7 год.

В такому випадку час перебування транзитного вагону з переробкою на станції дорівнює $t_{\text{тр}}^{\text{з/п}} = 1,7 + 1,2 + 5,7 + 0,6 + 2,7 = 11,9$ годин.

У випадку, якщо цей вагон прямує у міжнародному сполученні та для нього виконувалась заміна візків на пункті перестановки вагонів, то при визначенні часу перебування такого вагону на станції слід врахувати результати, отримані в пункті 4.2. З урахуванням того, що час на перестановку одної групи вагонів складає 69 хвилин потрібно додати цей час до загального часу перебування транзитного вагону з переробкою на станції. Таким чином, для вагонів, що прямують в міжнародному сполученні (із розрахунку на один вагон) час його перебування буде дорівнювати $11,9 + 1,15 = 13,1$ год.

Час знаходження на станції транзитного вагона без переробки $t_{\text{тр}}^{\text{б/п}}$ визначається як час знаходження транзитного вагона на станції від прибуття до відправлення

$$t_{\text{тр}}^{\text{б/п}} = t_{\text{тр}}^{\text{з/п}} \cdot \vartheta, \quad (4.23)$$

де ϑ – коефіцієнт, що враховує співвідношення фактичного простою транзитних вагонів без переробки на станції й фактичного простою транзитних вагонів з переробкою в парку відправлення

$$\vartheta = \frac{t_{\text{тр.факт}}^{\text{б/п}}}{t_{\text{пв.факт}}^{\text{з/п}}}, \quad (4.24)$$

Отже в нашому випадку $\vartheta = \frac{2,66}{2,7} = 0,99$, тоді простій $t_{\text{тр}}^{6/\text{п}} = 2,7 \cdot 0,9 = 2,67$ год.

На підставі отриманих раніше результатів, розраховано витрати пов'язані з простоєм вагонів та роботою маневрового локомотива для кожного парку окремо.

Мінімальна кількість локомотивів повинна забезпечувати безперешкодне приймання поїздів станцією, що потребує дотримання умов завантаженості гіркового локомотиву не більше 0,85, а локомотивів задіяних на формуванні поїздів – не більше 0,75.

Завантаження сортувальних пристроїв, які виконують розформування поїздів для гіркової станції при наявності маневрових локомотивів в хвості парку

$$\lambda_{\text{гip}} = \frac{\frac{t_{\text{гip}} N_{\text{пер}}}{m_p} (1 + \rho_{\text{гip}})}{1440 \alpha_{\text{гip}} - \sum T_{\text{пост}}^{\text{гip}}} + \Delta \gamma_{\text{гip}}, \quad (4.25)$$

де m_p – середній состав поїздів, що розформується

$\rho_{\text{гip}}$ – коефіцієнт, що враховує надійність технічних пристроїв;

$\alpha_{\text{гip}}$ – коефіцієнт, що враховує можливі перерви у використанні сортувального пристрою через ворожі пересування;

$\sum T_{\text{пост}}^{\text{гip}}$ – сумарний за добу час заняття гірки постійними операціями;

$\Delta \gamma_{\text{гip}}$ – відносні втрати переробної спроможності сортувального пристрою через нестачу числа та місткості сортувальних колій;

$N_{\text{пер}}$ – середньодобовий вагонопотік;

$t_{\text{гip}}$ – гірковий технологічний інтервал.

$$\lambda_{\text{гip}} = \frac{\frac{77 \cdot 559}{56} (1 + 0,03)}{1440 \cdot 0,97 - 60} + 0,05 = 0,64$$

Таким чином, завантаженість гіркового локомотиву є меншою, ніж 0,85. Тому для розформування поїздів достатньо мати один маневровий локомотив.

Для оптимізації процесу закінчення формування поїздів необхідно визначити необхідну кількість маневрових локомотивів, що працюють при формуванні поїздів.

Необхідну кількість маневрових локомотивів визначаємо як

$$M = \frac{\sum MT \cdot (1 + \gamma_M)}{1440 - t_{ек} - t_{пер}}, \quad (4.26)$$

де $\sum MT$ – загальні витрати локомотиво–хвилин;

γ_M – поправочний коефіцієнт на невраховану маневрову роботу (подавання вагонів на колії усунення комерційних несправностей, на дезпромстанцію, колії очищення вагонів від залишків вантажу та ін.), $\gamma_M = 0,4$;

$t_{ек}$ – час на екіпірування локомотива, $t_{ек} = 20$ хв (екіпірування проводиться раз на 72 год).

$t_{пер}$ – час на зміну локомотивних бригад, $t_{пер} = 20$ хв.

Розрахунки загальних витрат локомотиво–хвилин ($\sum MT$) для маневрових локомотивів наведені у таблицях 4.6 – 4.7.

Таблиця 4.6 – Розрахунок витрат часу для маневрових локомотивів, зайнятих розформуванням (формуванням) поїздів

Операції	Норма часу на операцію, хв.	Кількість операцій	Загальний час, лок–хв.
Заїзд маневрового локомотива на колію накопичення вагонів	6	25	150
Витягування вагонів на колію розпуску	10	25	250
Розпуск вагонів з гірки	18	25	450
Закінчення розпуску та осаджування	10	25	250
Усього $\sum MT$			1100

Тоді необхідна кількість маневрових локомотивів, зайнятих розформуванням (формуванням) поїздів буде дорівнювати

$$M = \frac{1100 \cdot (1+0,4)}{1440-60} = 1,1 \text{ локомотив, приймаємо один маневровий локомотив.}$$

Необхідна кількість маневрових локомотивів, зайнятих на місцевій роботі буде дорівнювати

$$M = \frac{1200 \cdot (1+0,4)}{1440-20-20} = 1,2 \text{ локомотива.}$$

Таблиця 4.7 – Розрахунок витрат часу для маневрових локомотивів, що задіяні на місцевій роботі

Операції	Норма часу, хв.	Кількість операцій за добу	Загальний випуск, лок-хв.
Заїзд локомотива в сортувальний парк на колію під накопичення місцевих вагонів	10	8	80
Формування місцевої передачі за розташуванням вантажних районів та фронтів	15	8	120
Подача місцевої передачі на місця загального користування	20	4	80
Маневрова робота на місцях загального користування (подавання, переставляння і розставляння вагонів на вантажних фронтах)	20	4	80
Забирання оброблених (вивантажених і навантажених вагонів) з місць загального користування	20	4	80
Заїзд локомотива під сформовану передачу місцевих вагонів на місця незагального користування	10	4	40
Подача місцевих вагонів на місця незагального користування	20	4	80
Обслуговування під'їзних колій:			
№ 1	15	2	30
№ 2	15	2	30
№ 3	15	2	30
№ 4	15	2	30
№ 5	10	2	20
№ 6	15	2	30
Формування передачі з навантажених і порожніх вагонів та перестановка її в парк приймання	15	8	100
Обслуговування станції	400	1	400
Усього ΣMT			1200

Приймаємо один маневровий локомотив, а при збільшенні місцевого вагонопотоку та кількості вагонів на станцію Чоп необхідно ще один маневровий локомотив. Запропоновані заходи забезпечать необхідну пропускну та переробну спроможність основних пристроїв та дозволять зменшити тривалість простою вагонів під накопиченням за рахунок більш інтенсивного формування поїздів.

5 Оцінка економічної ефективності проектного рішення

5.1 Запропонована технологія роботи пункту перестановки вагонів

Наразі пункт перестановки вагонів, розташований на прикордонній станції, обладнаний 8 перестановочними позиціями. Довжина колії, призначеної для виконання операцій перестановки, становить 200 м. Для піднімання рухомого складу використовуються 32 електричні домкрати вантажопідйомністю по 40 т кожний, при цьому на один вагон одночасно задіюються 4 домкрати. З урахуванням результатів оптимізаційних розрахунків, відповідно до яких раціональна кількість вагонів у складі поїзда становить 45 одиниць, доцільним є збільшення кількості перестановочних позицій із 8 до 9. Для оснащення додаткової позиції необхідно придбати ще один комплект домкратного обладнання у складі 4 домкратів.

Реалізація зазначеного заходу дозволить одночасно подавати на пункт перестановки групу з дев'яти вагонів. За таких умов технологічний процес заміни візків на інший стандарт ширини колії складатиметься з п'яти послідовних циклів. Тривалість обробки однієї партії вагонів становить 69 хв, тому для поїзда, сформованого з 45 вагонів, загальний час виконання операцій перестановки становитиме 7,8 год. враховуючи операції з подавання-прибирання кожної групи вагонів на пункт перестановки. У порівнянні з існуючою схемою роботи пункту це забезпечить скорочення тривалості обробки одного поїзда на 8,23 %.

Для оснащення нової перестановочної позиції пропонується застосувати залізничні домкрати типу ДТ-40 з електричною системою керування. Таке обладнання призначене для піднімання тепловозів, електровозів, пасажирських і вантажних вагонів, вагонів-рефрижераторів, залізничних цистерн різних типів під час проведення ремонтних і сервісних робіт. Крім того, домкрати можуть ефективно використовуватися для виконання операцій із заміни візків на пунктах перестановки вагонів. Зазначене обладнання застосовується під час комплектування стаціонарних домкратних установок типу УДС-120 та УДС-160.

Постачання домкратів ДТ-40 здійснюється у вигляді комплекту, до складу якого входять чотири домкратні стійки, централізована шафа керування та індивідуальні пульти управління. Комплект обладнання оснащується шафою керування типу ЕСКГ-91.001.07, у конструкції якої використовується багатофункціональне програмоване реле. Рівень захисту шафи відповідає класу IP56 згідно з вимогами ГОСТ 14254-96. Для контролю роботи обладнання передбачена система світлової індикації, яка відображає поточний технічний стан домкратів під час виконання технологічних операцій.

Таблиця 5.1 – Дані для визначення економічної ефективності проекту

Показник	Значення
Тривалість перестановки вагонів при існуючій технології роботи (8 позицій), год	8,5
Тривалість перестановки вагонів при запропонованій технології роботи (9 позицій), год	7,8
Вартість домкрата стаціонарного УДС160МА із монтажем, грн	1 337 000

Для обґрунтування економічної доцільності впровадження запропонованого варіанту удосконалення технології роботи прикордонної станції необхідно визначити загальну суму грошових вкладень та сукупний економічний ефект за розрахунковий період з урахуванням зміни вартості грошей у часі, базуючись на прогнозах кількості поїздів, що переставляється, та ступені економічного ризику. При прийнятті остаточного рішення також враховується строк окупності інвестиційних вкладень, рівень загальної та внутрішньої рентабельності.

5.2 Визначення обсягу роботи при перестановці вагонів міжнародного сполучення на прикордонній станції

Для визначення обсягів робіт з перестановки вагонів необхідно на основі попередньої інформації з використанням методу інтерполяції на основі змінної середньої визначити кількість вагонів, що будуть проходити через пункт

перестановки вагонів на прикордонній станції. Вихідні дані для надання прогнозової оцінки обсягів перестановки вагонів наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для розрахунку

Роки (t)	1	2	3	4	5
Фактичний обсяг перестановки вагонів	16236	17094	18150	19998	21236

На початковому етапі необхідно виконати згладжування фактичних даних часового ряду, що характеризує обсяги перестановки вагонів за попередні п'ять років. Для формування згладженого ряду, який відображає основну тенденцію розвитку процесу, використовується метод змінної середньої. Подальше прогнозування значень здійснюється із застосуванням методу найменших квадратів.

Метод змінної середньої ґрунтується на послідовному усередненні фактичних значень часового ряду шляхом їх об'єднання в окремі групи. Для кожної сформованої групи визначається середнє значення, яке використовується як елемент згладженого ряду. Обов'язковою умовою застосування цього методу є використання однакової непарної кількості спостережень у кожній групі. У даному дослідженні до складу кожної групи включаються три фактичні значення часового ряду.

Формування груп виконується шляхом послідовного переміщення вздовж фактичного ряду від першого до останнього значення. Після визначення середнього значення для чергової групи відбувається зміщення на одну позицію вперед із включенням наступного елемента ряду. При цьому загальна кількість сформованих груп буде меншою від кількості фактичних значень досліджуваного ряду на одну одиницю [27].

Необхідно згладити фактичні значення ряду y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 . При згладжуванні по трьох точках весь ряд розподіляється на групи, кожна з яких включає три точки: $(y_1, y_2, y_3); (y_2, y_3, y_4); (y_3, y_4, y_5)$.

Так, для перших трьох точок (y_1, y_2, y_3) розраховується згладжена середня $\bar{y}_2$, для наступних (y_2, y_3, y_4) - $\bar{y}_3$ тощо. Для згладжування за трьома точками застосовується формула

$$\bar{y}_0 = \frac{y_{-1} + y_0 + y_{+1}}{3}, \quad (5.1)$$

де $\bar{y}_0$ - згладжене значення середньої точки для будь-якої групи з трьох точок фактичного ряду;

y_{-1} , y_0 , y_{+1} – фактичні значення лівої, середньої та правої точок будь-якої групи фактичного ряду.

$$\bar{y}_2 = \frac{16236 + 17094 + 18150}{3} = 17160 \text{ поїздів};$$

$$\bar{y}_3 = \frac{17094 + 18150 + 19998}{3} = 18414 \text{ поїздів};$$

$$\bar{y}_4 = \frac{18150 + 19998 + 21236}{3} = 19795 \text{ поїздів}.$$

Згладжені значення для першої та останньої крайніх точок фактичного ряду, визначаються за спеціальними формулами (5.2) та (5.3).

Для визначення середнього (згладженого) значення для першої точки з першої групи фактичного часового ряду використовується формула

$$\bar{y}_{-1} = \frac{5y_{-1} + 2y_0 - y_{+1}}{6}, \quad (5.2)$$

де $\bar{y}_{-1}$ – згладжене значення крайньої лівої точки фактичного ряду;

y_{-1} , y_0 , y_{+1} – фактичні значення першої (крайньої лівої) групи з трьох точок фактичного ряду [27].

$$\bar{y}_1 = \frac{5 \cdot 16236 + 2 \cdot 17094 - 18150}{6} = 16203 \text{ поїздів}.$$

Для визначення середнього (згладженого) значення для останньої точки з останньої групи фактичного часового ряду використовується формула

$$\overline{y}_{+1} = \frac{5y_{+1} + 2y_0 - y_{-1}}{6}, \quad (5.3)$$

де $\overline{y}_{+1}$ - згладжене значення правої крайньої точки фактичного ряду;
 y_{-1} ; y_0 ; y_{+1} – значення останніх трьох точок фактичного ряду [27].

$$\overline{y}_5 = \frac{5 \cdot 21236 + 2 \cdot 19998 - 18150}{6} = 21337 \text{ поїздів.}$$

У таблиці 5.2 наведено показники фактичного обсягу перестановки вагонів за п'ять років та їх згладжування за трьома точками.

Таблиця 5.3 – Результати згладжування

Показник	Позначення	Рік (t)				
		1	2	3	4	5
Фактичний обсяг перестановки вагонів	Y	16236	17094	18150	19998	21236
Згладжене значення за трьома точками	$\bar{Y}_3$	16203	17160	18414	19795	21337

Візуально проаналізувавши отримані результати згладженого ряду бачимо, що він відповідає лінійній функції ($\hat{y} = a_0 + a_1 t$).

Параметри обраної функції a_0 , a_1 визначаємо методом найменших квадратів, розв'язавши систему рівнянь

$$\begin{cases} na_0 + a_1 \sum_{i=1}^n t_i = \sum_{i=1}^n y_i \\ a_0 \sum_{i=1}^n t_i + a_1 \sum_{i=1}^n t_i^2 = \sum_{i=1}^n t_i y_i \end{cases} \quad (5.4)$$

Для зручності визначення a_0 і a_1 всі обчислення зводимо в таблицю 5.4.

Таблиця 5.4 – Допоміжна таблиця для обчислення a_0 і a_1 для $\hat{y} = a_0 + a_1 t$

Роки, n	Кількість точок часового ряду (n)	t_i	y_i	$(t_i)^2$	$y_i t_i$
1	1	1	16236	1	16236
2	2	2	17094	4	34188
3	3	3	18150	9	54450
4	4	4	19998	16	79992
5	5	5	21236	25	106180
$n=5$	$\sum_{i=1}^5 n=5$	$\sum_{i=1}^5 t_i=15$	$\sum_{i=1}^5 y_i=92714$	$\sum_{i=1}^5 (t_i)^2=55$	$\sum_{i=1}^5 y_i t_i=291046$

Таким чином, система рівнянь набуває вигляду
$$\begin{cases} 5a_0 + 15a_1 = 92714 \\ 15a_0 + 55a_1 = 291046 \end{cases}$$

За результатами вирішення системи рівнянь отримаємо функцію,

$$y = 14671,6 + 1290,4t.$$

Визначивши функцію, що характеризує темпи зміни показника та значення його параметрів, необхідно визначити ступінь вірогідності обраної функції з використанням кореляційного відношення

$$R = \sqrt{1 - \frac{S_{\text{зал}}^2}{S_{\text{заг}}^2}}, \quad (5.5)$$

де $S_{\text{зал}}^2$ – загальна дисперсія,

$S_{\text{зал}}^2$ – залишкова дисперсія,

$$S_{\text{заг}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{(n-1)}, \quad (5.6)$$

$$S_{\text{зал.}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{(n-p)}, \quad (5.7)$$

де y_i – фактичні значення часового ряду;

$\hat{y}_i$ – розрахункові значення часового ряду;

$\bar{y}$ – середнє значення часового ряду;

n – кількість точок (значень) фактичного часового ряду;

p – кількість параметрів a_i , що входять до рівняння теоретичної кривої ($p=0,1$).

Величина R повинна мати завжди позитивне значення та знаходитись в інтервалі $0 < R < 1$. Високий рівень якості обраної функції відповідає умові $0,02 < R < 1$.

Для визначення загальної та остаточної дисперсії усі розрахунки доцільно звести в таблицю 5.5.

Таблиця 5.5 – Допоміжна таблиця для розрахунку дисперсії

Рік, n	t_i	y_i	$\hat{y}_i$	$y_i - \hat{y}_i$	$(y_i - \hat{y}_i)^2$	$\bar{y}$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$
1	1	16236	16203	33	1089	18582	-2346	3303716
2	2	17094	17160	-66	4356		-1488	2214144
3	3	18150	18414	-264	69696		-432	186624
4	4	19998	19795	203	41209		1416	2005056
5	5	21236	21337	-101	10201		2654	7043716
n=5	15				$\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = 126551$			$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = 16953256$

$$\text{Знайдемо } S_{\text{заг}}^2 = \frac{16953256}{5-1} = 4238314; \quad S_{\text{зал}}^2 = \frac{126551}{5-2} = 42183.$$

$$R = \sqrt{1 - \frac{42183}{4238314}} = 0,995.$$

Таким чином, кореляційне відношення R близьке до одиниці, а отже обране рівняння добре погоджується з вихідними даними часового ряду.

Підставивши потрібні періоди у знайдену лінійну функцію можна спрогнозувати обсяги перестановки вагонів на запланований період. Таким чином обсяги складатимуть

$$y_{п1} = 14671,6 + 1290,4 \cdot 6 = 22414 \text{ вагонів};$$

$$y_{п2} = 14671,6 + 1290,4 \cdot 7 = 23705 \text{ вагонів};$$

$$y_{п3} = 14671,6 + 1290,4 \cdot 8 = 24994 \text{ вагонів};$$

$$y_{п4} = 14671,6 + 1290,4 \cdot 9 = 26285 \text{ вагонів};$$

$$y_{п5} = 14671,6 + 1290,4 \cdot 10 = 27575 \text{ вагонів}.$$

5.3 Розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованих змін

Економічний ефект від реалізації проектного рішення визначається згідно з умовами використання результатів реалізації запропонованої технології за розрахунковий період. Сукупний економічний ефект визначається як сума річних економічних ефектів за розрахунковий період з обов'язковим урахуванням фактору часу.

Для визначення результатів проекту в теперішній вартості грошей результати і витрати різних років приводяться до першого року життєвого циклу проекту, то коефіцієнт приведення (дисконтування) α_t визначається за формулою

$$\alpha_t = \frac{1}{[(1+E)(1+I+R)]^{t_k-t_p}}, \quad (5.8)$$

де E – середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками (дисконтна ставка), в частках одиниці, $E=0,12$;

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту, в частках одиниці, $R=0,01$;

I – річний рівень інфляції, що прогнозується на період здійснення проекту, $I=0,09$;

t_p – порядковий номер розрахункового року;

t_k – порядковий номер року, грошові потоки якого приводяться до розрахункового року.

$$\alpha_{1\Pi} = \left[\frac{1}{(1+0,12)(1+0,09+0,01)} \right]^0 = 1;$$

$$\alpha_{2\Pi} = \left[\frac{1}{(1+0,12)(1+0,09+0,01)} \right]^1 = 0,83;$$

$$\alpha_{3\Pi} = \left[\frac{1}{(1+0,12)(1+0,09+0,01)} \right]^2 = 0,68;$$

$$\alpha_{4\Pi} = \left[\frac{1}{(1+0,12)(1+0,09+0,01)} \right]^3 = 0,57;$$

$$\alpha_{5\Pi} = \left[\frac{1}{(1+0,12)(1+0,09+0,01)} \right]^4 = 0,47.$$

Для визначення ефекту від впровадження основними впливовими витратами, які віднесені до експлуатаційних є витрати пов'язані з вагоно-годинами простою навантаженого вагону у складі поїзда.

Витрати пов'язані з простоєм вагонів у складі вантажного поїзда на станції при зміні візків на пункті перестановки

$$B_{\text{пр.п}} = C_{\text{п-г}} \frac{m}{m_c} t_n, \quad (5.9)$$

де $C_{\text{пг}}$ – питомі витрати на 1 поїздо-годину при тепловозній тяги у вантажному русі, грн, 2071,94 грн/поїздо-год;

t_n – час простою в пункті перестановки вагонів, год;

m – кількість вантажних вагонів, що переставляються на станції за рік;

m_c – кількість вагонів у поїзді

Результат розрахунку економічного ефекту зведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Розрахунок економічного ефекту

Показник	Рік				
	1п	2п	3п	4п	5п
Обсяги перестановки вагонів за рік	22414	23704	24995	26285	27575
До впровадження заходів					
Час простою поїздів, год	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Вартість поїздо-години простою, грн/поїздо-год	2071,94	2071,94	2071,94	2071,94	2071,94
Витрати пов'язані з простоєм поїздів до впровадження змін в технологію роботи пункту перестановки вагонів, тис.грн	8772,08	9276,95	9782,21	10287,06	10791,92
Після впровадження заходів					
Одноразові витрати, тис.грн	1337	-	-	-	-
Час простою поїздів, год	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Витрати пов'язані з простоєм поїздів після впровадження змін в технологію роботи пункту перестановки вагонів, тис.грн	8049,68	8512,96	8976,61	9439,89	9903,18
Економічний ефект					
Економ. ефект, тис.грн	-614,59	763,98	805,59	847,17	888,74
Коефіцієнт приведення	1	0,83	0,68	0,57	0,47
Економічний ефект з урахуванням коефіцієнта приведення, тис.грн	-614,59	634,11	547,81	482,88	417,71
Економічний ефект наростаючим підсумком, тис.грн	-614,59	19,514	567,31	1050,21	1467,91

Враховуючи усі витрати до впровадження та витрати після впровадження запропонованого проектного рішення для прогнозованого обсягу перестановки вагонів по станції сукупний економічний ефект склав 1467,91 тис. грн. Запропоноване проектне рішення є рентабельним та доцільним. Окупність проекту настає в межах другого року розрахункового періоду.

Висновки

У магістерській роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання, що полягає в удосконаленні технології організації міжнародних залізничних перевезень у сучасних умовах шляхом обґрунтування раціональних параметрів функціонування прикордонних залізничних станцій та оптимізації процесів обробки міжнародного вагонопотоку.

Проведене дослідження підтвердило, що в умовах повномасштабної військової агресії проти України залізничний транспорт набув критично важливого значення для забезпечення функціонування національної економіки, підтримання експортно-імпортних зв'язків, доставки гуманітарних вантажів та забезпечення міжнародної логістичної взаємодії. Блокування морських портів та суттєве скорочення можливостей використання традиційних транспортних маршрутів спричинили переорієнтацію значної частини зовнішньоторговельних вантажопотоків на західний напрям, що призвело до різкого зростання навантаження на прикордонну залізничну інфраструктуру.

Дослідження особливостей міжнародних перевезень між Україною та країнами Європейського Союзу показало, що одним із ключових факторів, який стримує розвиток міжнародного залізничного сполучення, залишається відмінність ширини колії. Українська залізнична мережа функціонує на колії шириною 1520 мм, тоді як більшість держав Європейського Союзу використовує стандарт 1435 мм. Унаслідок цього виникає необхідність виконання додаткових технологічних операцій, пов'язаних із перевантаженням вантажів або перестановкою вагонів на візки іншої ширини колії. Такі операції призводять до збільшення часу перебування вагонів на прикордонних станціях, підвищення експлуатаційних витрат та зниження загальної ефективності міжнародних перевезень.

У роботі виконано детальний аналіз функціонування прикордонних переходів між Україною та країнами Європейського Союзу. Встановлено, що найбільші обсяги міжнародних перевезень здійснюються через переходи Ізов – Грубешув, Чоп – Чірна-над-Тісоу, Ужгород – Матевце та Батьово – Еперешке. Аналіз структури

вагонопотоків показав, що майже 90 % міжнародних перевезень концентруються на обмеженій кількості прикордонних переходів, що створює значне навантаження на їхню інфраструктуру та призводить до виникнення технологічних обмежень. Особливо гостро проблема проявилася після переорієнтації експортних вантажопотоків на західний напрямок у зв'язку з блокуванням морських портів.

Під час дослідження встановлено, що найбільш навантаженими елементами міжнародної транспортної системи є прикордонні залізничні станції, на яких виконуються операції з митного контролю, технічного огляду, перестановки вагонів та перевантаження вантажів. Саме від ефективності їх роботи значною мірою залежить конкурентоспроможність залізничного транспорту на міжнародному ринку транспортних послуг. Зростання інтенсивності міжнародних вагонопотоків призводить до виникнення черг, збільшення тривалості простою вагонів та погіршення використання наявних виробничих ресурсів.

На основі натурних спостережень виконано статистичне дослідження основних технологічних процесів роботи станції. Для інтервалів прибуття поїздів, тривалості їх обслуговування, розформування, накопичення, технічного огляду та відправлення визначено основні статистичні характеристики і встановлено закони розподілу випадкових величин. Результати перевірки статистичних гіпотез за критеріями Пірсона та Колмогорова-Смирнова підтвердили можливість використання отриманих емпіричних розподілів як вхідних параметрів для подальшого моделювання роботи прикордонної станції як системи масового обслуговування.

Встановлено, що найбільш нерівномірним процесом є очікування технічного огляду составів по відправленню, для якого коефіцієнт варіації становить 1,29. Це свідчить про наявність вузького місця у технології обробки міжнародного вагонопотоку та необхідність пошуку організаційних рішень щодо скорочення простоїв рухомого складу. Водночас процеси накопичення составів та їх відправлення характеризуються високим рівнем регульованості та стабільності.

У роботі формалізовано технологію обробки міжнародного вагонопотоку на прикордонній станції та розроблено нелінійну економіко-математичну модель мінімізації експлуатаційних витрат. На відміну від існуючих підходів, модель

враховує одночасний вплив процесів накопичення вагонів, формування поїздів, митного та технічного контролю, затримок вагонів, а також операцій із перестановки візків при переході між коліями стандартів 1520 мм і 1435 мм. Для опису черг у технологічних підсистемах використано апроксимацію Аллена-Кунніна для систем типу G/G/c, що дозволило врахувати фактичну нерівномірність потоків прибуття та обслуговування.

Результати чисельного експерименту показали, що цільова функція має єдиний глобальний мінімум. Встановлено, що раціональна довжина состава міжнародного призначення становить близько 45 вагонів. За такого значення забезпечується збалансоване завантаження технологічних підсистем станції, знижується вплив черг та досягається мінімум сукупних експлуатаційних витрат. Аналіз чутливості моделі підтвердив стійкість отриманого рішення до зміни окремих економічних параметрів та виявив найбільший вплив обсягів вагонопотоку і кількості обслуговуючих пристроїв на результати оптимізації.

Для перевірки достовірності аналітичних залежностей розроблено дискретно-подієву імітаційну модель роботи станції. Порівняння результатів моделювання з аналітичними розрахунками показало, що відхилення середнього часу очікування не перевищує 6 %, що підтверджує адекватність запропонованого математичного апарату та можливість його використання для прийняття управлінських рішень щодо розвитку прикордонної інфраструктури.

У межах дослідження визначено показники роботи станції та встановлено, що середній час перебування транзитного вагона з переробкою становить 11,9 год, а для вагонів міжнародного сполучення з урахуванням операцій перестановки візків – близько 13,1 год. Отримані результати дозволили кількісно оцінити вплив технології зміни ширини колії на загальну тривалість обробки вагонів та підтвердили необхідність удосконалення роботи пункту перестановки вагонів.

Для підвищення ефективності роботи прикордонного переходу запропоновано модернізацію пункту перестановки вагонів шляхом збільшення кількості перестановочних позицій з восьми до дев'яти та встановлення додаткового комплексу електричних домкратів. Реалізація зазначеного заходу дозволяє одночасно обробляти

дев'ять вагонів, скоротити тривалість перестановки вагонів у складі поїзда та підвищити продуктивність пункту перестановки.

Також виконано прогнозування обсягів перестановки вагонів на основі методу змінної середньої та методу найменших квадратів. Отримані результати свідчать про стійку тенденцію зростання обсягів міжнародних перевезень через прикордонний перехід, що підтверджує доцільність подальшого розвитку інфраструктури станції та впровадження запропонованих технічних заходів.

Розроблені моделі, отримані закономірності та запропоновані технічні рішення створюють науково обґрунтовану основу для підвищення ефективності функціонування прикордонних залізничних станцій при міжнародних перевезеннях, скорочення часу перебування вагонів на стиках колій різної ширини та покращення використання інфраструктурного потенціалу міжнародних транспортних коридорів.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 №1550. *Урядовий кур'єр*. 2025. 1 січ. (№1). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1550-2024-%D0%BF#Text>.
2. Директива 2004/49/ЄС Європейського парламенту та ради від 29 квітня 2004 р. «Про безпеку залізниць у Співтоваристві», яка вносить зміни до Директиви Ради 96/18/ЄС «Про ліцензування підприємств залізничного транспорту» та до Директиви 2001/14/ЄС «Про розподіл потужностей залізничних інфраструктур та стягнення платежів за використання залізничної інфраструктури» та про сертифікацію безпеки (Директива про безпеку на залізницях). URL: <http://www.transport-ukraine.eu/docs/direktivaievropeyskogo-parlamentu-ta-radi-pro-bezpeku-zaliznic-u-spivtovaristvi-yaka-vnosit>.
3. Директива 2001/16/ЄС від 19 березня 2001 р. щодо експлуатаційної сумісності залізничних систем. URL: http://www.ten-t.org.ua/data/upload/catalog/main/ua/127/directive_2001_16_ua.doc.
4. Директива 2004/50/ЄС від 29 квітня 2004 р. що вносить зміни до Директиви Ради 96/48/ЄС «Про експлуатаційну сумісність транс'європейської високошвидкісної залізничної системи» та до Директиви 2001/16/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про експлуатаційну сумісність транс'європейської звичайної залізничної системи. URL: <http://www.transportukraine.eu/docs/direktiva-ievropeyskogo-parlamentu-ta-radi-shchodo-vnesennya-zmindodirektivi-radi-9648iec-ta>
5. Бондар В. Чи достатньо Україні залізничних переходів з країнами Європи URL: <https://uga.ua/meanings/chi-dostatno-ukrayini-zaliznichnih-perehodiv-z-krayinami-yevropi/>
6. Григоренко Ю. Експортні залізничні перевезення у I півріччі зросли на 22,6% р./р. URL: <https://gmcenter.ua/infographic/eksportni-zaliznichni-perevezennya-u-i-pivrichchi-zrosli-na-22-6-r-r>

7. Григоренко Ю. Залізничні ворота у світ: в якому стані перебувають вантажні перевезення між Україною та Польщею URL: <https://gmk.center/ua/posts/zaliznichni-vorota-u-svit-v-yakomu-stani-perebuvajut-vantazhni-perevezennya-mizh-ukrainoju-ta-polshheju/>

8. Проект із заміни візків з колії 1520 мм на колію 1435 мм. URL: <https://www.eu-trans.biz/img/news/p22-11-22r.pdf>

9. Перескочити на євроколію: Чи допоможуть іспанські технології українській залізниці на шляху до ЄС. URL: https://cfts.org.ua/articles/pereskochiti_na_evrokoliyu_chi_dopomozhut_ispanski_tekhnologi_ukranskiy_zalznitsi_na_shlyakhu_do_es_2055.

10. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони (із змінами і доповненнями): URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011#Text

11. Транспортна мережа TEN-T: яким бачать розвиток інфраструктури України в ЄС. URL: https://cfts.org.ua/articles/transportnaya_set_ten_t_kakim_vidyat_razvitie_infrastruktury_ukrainy_v_evrosoyuze_1511/106840

12. В Єврокомісії пропонують будувати залізницю з колією 1435 мм з Кракова до Львова URL: https://cfts.org.ua/news/2023/07/12/v_evrokomisi_proponuyut_buduvati_zalznitsyu_z_kolieyu_1435_mm_z_krakova_do_lvova_75699.

13. Транс'європейська транспортна мережа: ЄС покращить сполучення з Україною та Молдовою URL: <https://euneighbourseast.eu/uk/news/latest-news/transyevropejska-transportna-merezha-yes-pokrashhyt-spoluchennya-z-ukrayinoyu-ta-moldovoyu/>

14. Яновська В.П., Баранівський О.А. Інтеграція національної транспортної системи в Транс'європейську транспортну мережу: тренди і перспективи. *Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Економіка і управління»*. Київ, 2021. №49. С.6-22. DOI: 10.32703/2664-2964-2021-49-6-22. URL: <https://em.duit.in.ua/index.php/home/article/view/1>.

15. Федяй Н. О. Особливості інтеграції української транспортної інфраструктури в транс-європейську транспортну мережу. *Ефективна економіка*. 2018. № 12. DOI: [10.32702/2307-2105-2018.12.93](https://doi.org/10.32702/2307-2105-2018.12.93) URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=6764>

16. Analysis of determinative parameters for maintaining the technical and operational compatibility of the 1520 mm and 1435 mm gauge rail systems at the commonwealth of independent states (cis)/european union (eu) border. Subsystem: ccs and communications/ The document is prepared by the OSJD-ERA Contact Group, 2016. URL: <https://www.era.europa.eu/system/files/2022-11/Analysis%201520%20CCS%20%28EN%29.pdf>.

17. Arbuzov M., Andrieiev V., Kosturechko S. Solving the problem of switching from one track gauge to another in the context of the requirements of interoperability specifications for classical infrastructure. *MATEC Web of Conferences* 390, 2024. DOI: [10.1051/matecconf/202439002010](https://doi.org/10.1051/matecconf/202439002010) URL: https://www.matec-conferences.org/articles/matecconf/pdf/2024/02/matecconf_eot24_02010.pdf

18. Gauge-changing train is no game changer for China. URL: <https://www.lowyinstitute.org/the-interpreter/gauge-changing-train-no-game-changer-china>

19. Прохорченко А. В., Харченко Д. Р., Киман А. М., Кравченко М. А. Дослідження правил пріоритетності руху поїздопотоків у залізничних системах. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2024. №4. С. 71-83. URL: <https://doi.org/10.18664/ikszt.v29i4.320376>

20. Kravchenko, M., Prokhorchenko, A., Zolotarov, S. Mathematical model of a railroad grain cargo ridesharing service in the form of coalitions in congestion games. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. №5 (3(125), С. 35–48. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.289470>

21. Дідусенко В. В., Кравченко М. А., Золотарьов С. А., Прохорченко Г. О. Дослідження крос-кордонних перевезень зернових вантажів автомобільним та залізничним транспортом. *Системи та технології*. 2022. Вип. 2 (64). С. 19-29. URL: <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2022.2-64.3>

22. Інтероперабельність транспортних систем : навчальний посібник / М. І. Березовий, В. В. Малашкін, Т. В. Болвановська, Н. Ю. Берун, Є. Б. Демченко ; Укр. держ. ун-т науки і технологій. – Дніпро : УДУНТ, 2024. – 179 с.
23. Allen A.O. *Probability, Statistics, and Queueing Theory with Computer Science Applications*. Academic Press, 1990. 722 p
24. Whitt W. *Approximations for the GI/G/m Queue*. Production and Operations Management, 1993. Vol. 2, No. 2. P. 114–161
25. Математичні методи дослідження операцій : підручник / Є. А. Лавров, Л. П. Перхун, В. В. Шендрик та ін. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 212 с.
URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/236d1385-fcfd-493b-beb4-20b0ac36c8b1/content>
26. Методичні вказівки з розрахунку норм часу на маневрові роботи, які використовуються на залізничному транспорті: затв. наказом Укрзалізниці від 25.03.2003 р. № 72-ЦЗ. – К.:КМДФ ФКП «НДІСЄП», 2003. – 81 с.
27. Балака Є. І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.
28. Shapoval G., Antonenko V. RESEARCH ON THE CAUSES OF CARGO DELAYS IN INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION *Інтелектуальні транспортні технології* : Тези доповідей 6-ї міжнародної науково-технічної конференції. м. Харків, 24-26 листопада 2025 р. Харків, 2025. С. 266-268
29. Shapoval G., Antonenko V. Improving the organisation of international rail transport under martial law conditions *Міжнародна транспортна інфраструктура, індустриальні центри та корпоративна логістика : тези доп. 22 науково-практичної міжнародної конференції (4-5 червня 2026 р)* – Харків: УкрДУЗТ. С.43-43.
30. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови викладення та оформлення: метод. посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській навчальній звітності / Л. М. Козар, Є. В. Коновалов, А. О. Лапко, Г. В. Шаповал [та ін.]. Харків : УкрДАЗТ, 2014. 54 с.

Додаток А

Дослідження основних параметрів роботи станції

У додатку наведено результати статистичного оброблення натурних спостережень за основними параметрами роботи станції, які використано як вхідні дані для побудови імітаційної моделі станції як системи масового обслуговування (СМО) у розділі 4. Для кожного параметра побудовано гістограму емпіричного розподілу частотей та визначено його числові характеристики - середнє значення (математичне очікування), дисперсію, середнє квадратичне відхилення і коефіцієнт варіації.

Коефіцієнт варіації показує відношення середньоквадратичного відхилення до математичного очікування та є індикатором характеру потоку:

- при наближенні значення коефіцієнта варіації до одиниці досліджуваний потік відповідає найпростішому (пуассонівському) потоку з показниковим розподілом інтервалів,
- при $v < 1$ – досліджуваний процес вважається детермінованим, тобто є регульованом;
- при $v > 1$ – спостерігається гіперекспоненційний розподіл або підвищена нерівномірність потоку.



Рисунок А.1 – Гістограма розподілу інтервалів прибуття составів на станцію

Гістограма (рис. А.1) демонструє різко асиметричний, спадний характер розподілу інтервалів між прибуттями составів: найбільша частка спостережень (34 %) припадає на перший інтервал 0-28,75 хв. Зі збільшенням тривалості інтервалу частість швидко спадає, проте розподіл має «важкий хвіст» до 230 хв, що свідчить про нерегулярність надходження поїздів до станції.

Таблиця А.1 – Параметри процесу прибуття поїздів на станцію

Межі інтервалу	Середина x_i	Частота m_i	Частість p_i	$x_i \cdot p_i$	$x_i^2 \cdot p_i$
0-28,75	14,375	34	0,34	4,888	70,258
28,75-57,5	43,125	29	0,29	12,506	539,332
57,5-86,25	71,875	19	0,19	13,656	981,543
86,25-115	100,625	9	0,09	9,056	911,285
115-172,5	143,750	5	0,05	7,188	1033,203
172,5-230	201,250	4	0,04	8,050	1620,063
Всього		100	1,000	55,344	5155,684

За даними таблиці А.1 середній інтервал прибуття становить $\bar{x} = 55,34$ хв за середнього квадратичного відхилення $\sigma = 45,75$ хв і коефіцієнта варіації $v = 0,83$. Близькість коефіцієнта варіації до одиниці дає підстави апроксимувати вхідний потік составів найпростішим (пуассонівським), що є типовим для приймальної підсистеми станції та узгоджується з припущеннями моделі СМО розділу 4.



Рисунок А.2 – Гістограма розподілу тривалості обслуговування составів після прибуття на станцію

Розподіл тривалості обслуговування составів після прибуття (рисунок А.2) є вираженим одномодальним: 78,5 % значень зосереджено в інтервалі 26,4-52,8 хв. Решта спостережень формує пологий правий хвіст до 264 хв, зумовлений поодинокими затримками технічного характеру.

Таблиця А.2 – Параметри тривалості обслуговування составів після прибуття

Межі інтервалу	Середина x_i	Частота m_i	Частість p_i	$x_i \cdot p_i$	$x_i^2 \cdot p_i$
0-26,4	13,2	21	0,053	0,693	9,148
26,4-52,8	39,6	314	0,785	31,086	1231,006
52,8-79,2	66,0	33	0,083	5,445	359,370
79,2-105,6	92,4	11	0,028	2,541	234,788
105,6-132	118,8	8	0,020	2,376	283,269
132-184,8	158,4	7	0,018	2,772	439,085
184,8-264	224,4	6	0,015	3,366	755,330
Всього		400	1,000	48,279	3310,996

Числові характеристики (таблиця А.2): $\bar{x} = 48,28$ хв, $\sigma = 31,31$ хв, $v = 0,65$. Значення коефіцієнта варіації, помітно менше за одиницю, вказує на достатньо стабільний, близький до регулярного процес обслуговування, який доцільно описувати розподілом Ерланга (гамма-розподілом), а не показниковим.

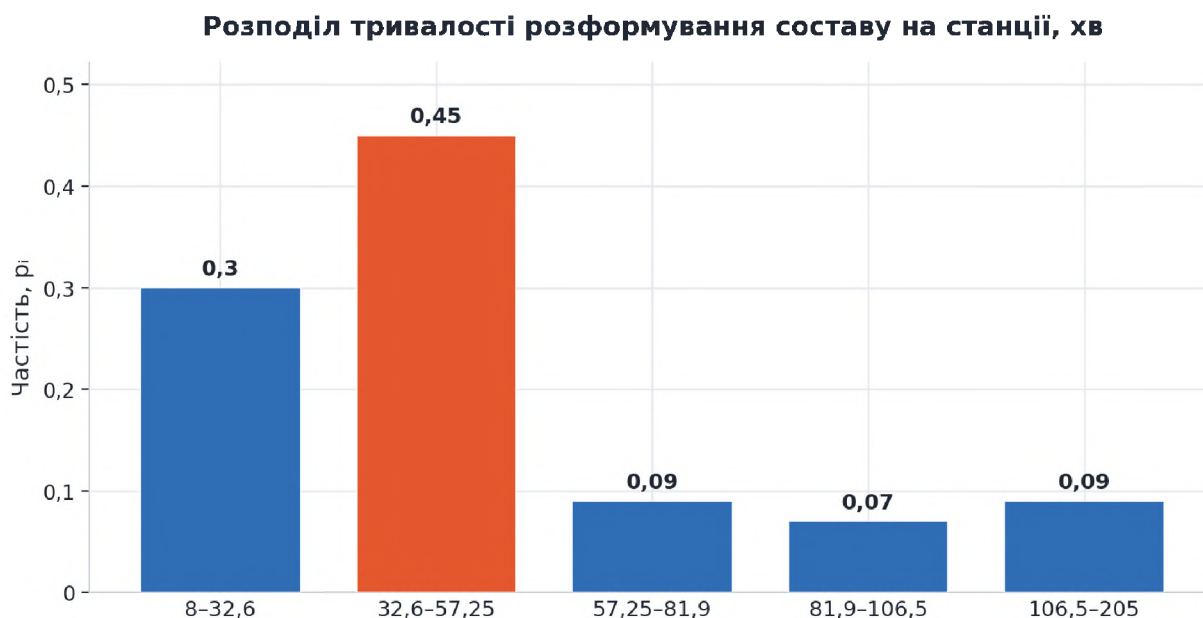


Рисунок А.3 – Гістограма розподілу тривалості розформування состава на станції

Гістограма тривалості розформування состава (рисунок А.3) має виражений правоасиметричний характер: два перші інтервали (8-32,6 та 32,6-57,25 хв) разом охоплюють 75 % спостережень, при цьому максимальна частість (45 %) припадає на другий інтервал. Операція розформування є однією з визначальних технологічних операцій, що безпосередньо впливає на переробну спроможність станції.

Згідно з таблиці А.3 середня тривалість розформування $\bar{x} = 53,19$ хв, $\sigma = 37,99$ хв, $v = 0,71$. Помірне значення коефіцієнта варіації свідчить про відносну стабільність операції за наявності окремих тривалих випадків (до 205 хв), які формують резерв скорочення часу перебування вагонів на станції.

Таблиця А.3 – Параметри часу розформування составів на станції

Межі інтервалу	Середина x_i	Частота m_i	Частість p_i	$x_i \cdot p_i$	$x_i^2 \cdot p_i$
8-32,625	20,312	30	0,30	6,09	123,773
32,625-57,25	44,937	45	0,45	20,22	908,700
57,25-81,875	69,562	9	0,09	6,26	435,498
81,875-106,5	94,187	7	0,07	6,59	620,983
106,5-205	155,750	9	0,09	14,02	2183,225
Всього		100	1,000	53,19	4272,181

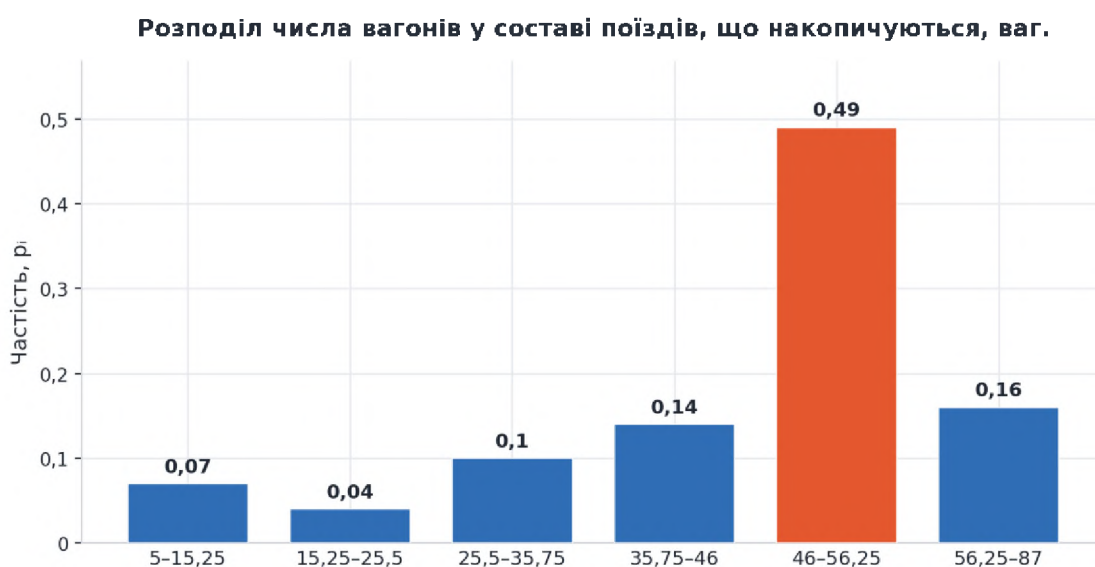


Рисунок А.4 – Гістограма розподілу числа вагонів у составі поїздів, що накопичуються

На відміну від інших параметрів, рисунок А.4 характеризує не часовий показник, а число вагонів у составах, що накопичуються. Розподіл одномодальний із чітко вираженою модою в інтервалі 46-56,25 ваг. (49 %), що відповідає нормі довжини составу для розглядуваного напрямку.

Таблиця А.4 – Параметри розподілу числа вагонів у складі поїздів, що накопичуються

Межі інтервалу	Середина x_i	Частота m_i	Частість p_i	$x_i \cdot p_i$	$x_i^2 \cdot p_i$
5-15,25	10,125	7	0,07	0,71	7,176
15,25-25,5	20,375	4	0,04	0,82	16,606
25,5-35,75	30,625	10	0,10	3,06	93,789
35,75-46	40,875	14	0,14	5,72	233,907
46-56,25	51,125	49	0,49	25,05	1280,745
56,25-87	71,625	16	0,16	11,46	820,823
Всього		100	1,00	46,82	2453,046

Параметри розподілу (таблиця А.4): $\bar{x} = 46,82$ ваг., $\sigma = 16,15$ ваг., $v = 0,35$. Найнижче серед усіх параметрів значення коефіцієнта варіації підтверджує високу стабільність (близькість до детермінованості) процесу накопичення та стандартизованість складів за довжиною.

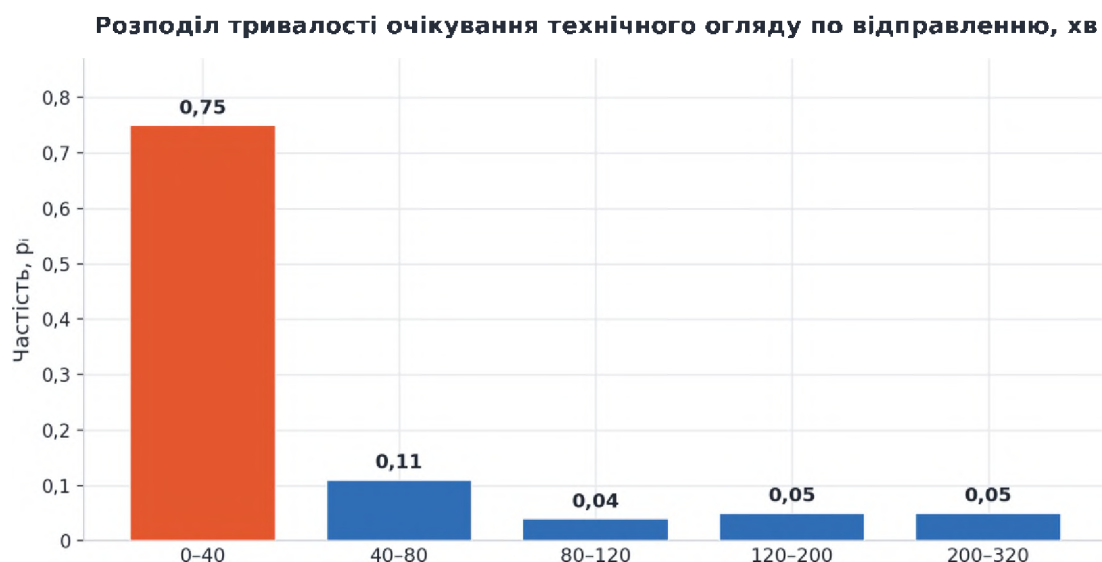


Рисунок А.5 – Гістограма розподілу тривалості очікування технічного огляду по відправленню

Розподіл тривалості очікування технічного огляду по відправленню (рисунко А.5) є різко асиметричним: 75 % составів очікують менше ніж 40 хв, однак наявний значний правий хвіст до 320 хв. Саме цей параметр визначає найбільшу нерівномірність серед усіх досліджених операцій.

Таблиця А.5 – Параметри розподілу тривалості очікування технічного огляду

Межі інтервалу	Середина x_i	Частота m_i	Частість p_i	$x_i \cdot p_i$	$x_i^2 \cdot p_i$
0-40	20	75	0,75	15,00	300,0
40-80	60	11	0,11	6,60	396,0
80-120	100	4	0,04	4,00	400,0
120-200	160	5	0,05	8,00	1280,0
200-320	260	5	0,05	13,00	3380,0
Всього		100	1,000	46,60	5756,0

Розрахунок (таблиця А.5) дає $\bar{x} = 46,60$ хв, $\sigma = 59,87$ хв, $v = 1,29$. Перевищення коефіцієнтом варіації одиниці свідчить про гіперекспоненційний характер розподілу та наявність «вузького місця» у підсистемі підготовки составів до відправлення.

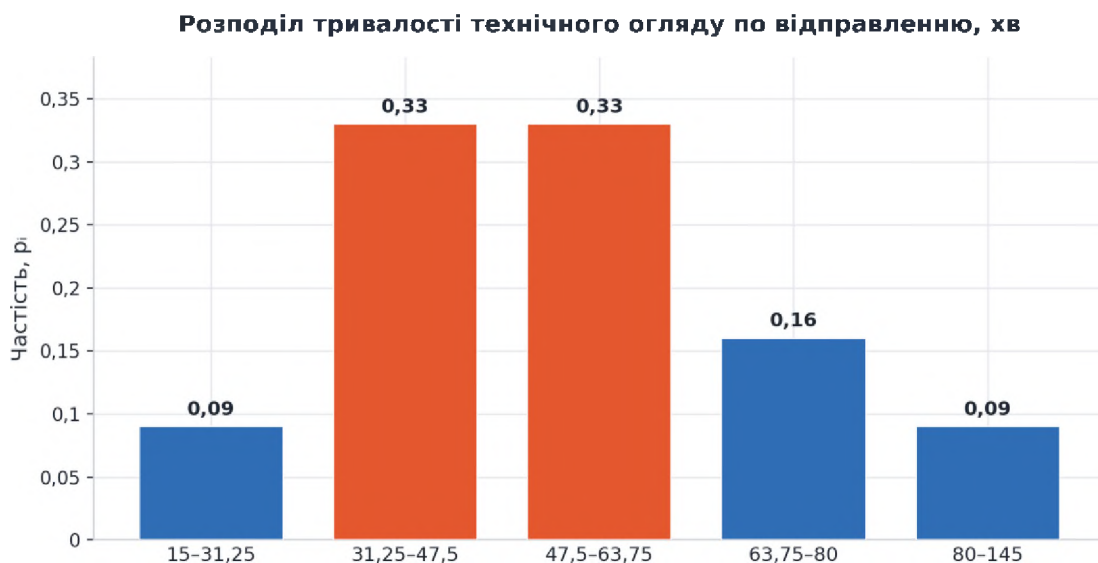


Рисунок А.6 – Гістограма розподілу тривалості технічного огляду состава по відправленню

Гістограма тривалості безпосередньо технічного огляду по відправленню (рисунок А.6) близька до симетричної: два центральні інтервали (31,25-47,5 та 47,5-63,75 хв) мають однакову частість (по 33 %) і разом охоплюють 66 % спостережень.

Таблиця А.6 – Параметри розподілу тривалості технічного огляду по відправленню

Межі інтервалу	Середина x_i	Частота m_i	Частість p_i	$x_i \cdot p_i$	$x_i^2 \cdot p_i$
15-31,25	23,125	9	0,09	2,08	48,129
31,25-47,5	39,375	33	0,33	12,99	511,629
47,5-63,75	55,625	33	0,33	18,36	1021,066
63,75-80	71,875	16	0,16	11,50	826,563
80-145	112,500	9	0,09	10,13	1139,063
Всього		100	1,00	55,06	3546,449

Числові характеристики (таблиця А.6): $\bar{x} = 55,06$ хв, $\sigma = 22,69$ хв, $v = 0,41$. Низьке значення коефіцієнта варіації вказує на стабільність і нормованість самої операції огляду технологічним процесом. Зіставлення з рисунком А.5 показує, що нестабільним є не сам огляд, а очікування його початку.

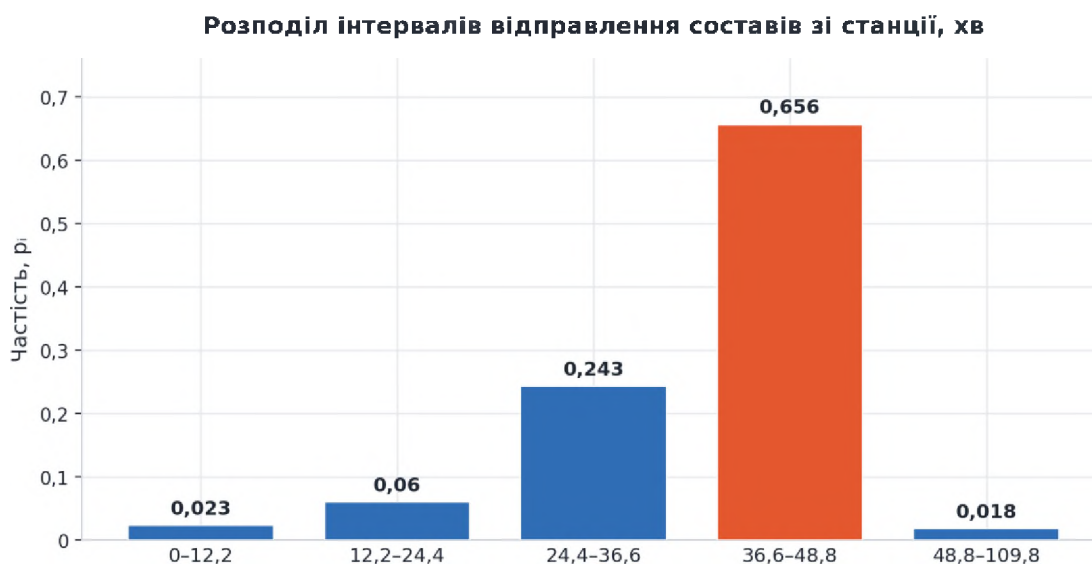


Рисунок А.7 – Гістограма розподілу інтервалів відправлення составів зі станції

Розподіл інтервалів відправлення составів зі станції (рисунок А.7) є найбільш концентрованим: 65,6 % значень припадає на інтервал 36,6-48,8 хв, а понад 90 % — на діапазон 24,4-48,8 хв. Форма гістограми наближається до симетричної з вузьким розкидом.

Таблиця А.7 - Параметрів розподілу інтервалів відправлення составів зі станції

Межі інтервалу	Середина x_i	Частота m_i	Частість p_i	$x_i \cdot p_i$	$x_i^2 \cdot p_i$
0-12,2	6,1	5	0,023	0,140	0,853
12,2-24,4	18,3	13	0,060	1,091	19,971
24,4-36,6	30,5	53	0,243	7,415	226,162
36,6-48,8	42,7	143	0,656	28,010	1196,011
48,8-109,8	79,3	3	0,018	1,455	115,385
Всього		217	1,000	38,111	1558,382

Параметри розподілу (таблиця А.7): $\bar{x} = 38,11$ хв, $\sigma = 10,29$ хв, $v = 0,27$. Найнижче серед часових параметрів значення коефіцієнта варіації свідчить про високу регулярність потоку відправлення, що регламентується нитками графіка руху. Зіставлення з нерегулярним вхідним потоком (рисунок А.1, $v = 0,83$) демонструє згладжувальну функцію станції, яка перетворює нерівномірний потік прибуття на регульований потік відправлення.

Узагальнення числових характеристик дозволяє ранжувати технологічні операції на станції за рівнем нерівномірності. Найбільш нестабільним процесом є очікування технічного огляду по відправленню ($v = 1,29$), що ідентифікує його як основне «вузьке місце» інфраструктури прикордонної станції. Натомість процеси накопичення составів ($v = 0,35$) та відправлення ($v = 0,27$) є найбільш регульованими. Отримані емпіричні розподіли та їх характеристики безпосередньо використано як вхідні параметри імітаційної моделі станції у розділі 4 для оцінювання ефективності використання інфраструктури прикордонних переходів.

АКТ
перевірки кваліфікаційної роботи магістра
на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу **Strikeplagiarism** праця «УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В СУЧАСНИХ УМОВАХ», автор Антоненко Владислав Сергійович, містить 1,37 % текстових збігів. Ознаки академічного плагіату відсутні.

Перевірку виконала доцент
кафедри залізничних станцій та вузлів



Ганна ШАПОВАЛ