Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра залізничних станцій та вузлів

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗУВАННЯ НАДХОДЖЕННЯ КОНТЕЙНЕРОПОТОКІВ

Пояснювальна записка та розрахунки
до кваліфікаційної роботи

УТПКП.300.00.00.000 ПЗ

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


(підпис) Владислав ПАНЧЕНКО

Керівник: доцент, канд. техн. наук
Аліна КОЛІСНИК

Рецензент: професор, д. т. н.
Лариса ПАРХОМЕНКО

2026

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 16 слайдів презентації, 90 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 24 рисунок, 4 таблиці, 40 літературних джерел.

Ключові слова: КОНТЕЙНЕРНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, КОНТЕЙНЕРОПОТІК, ЛОГІСТИЧНИЙ ХАБ, ПРОГНОЗУВАННЯ, РЕКУРЕНТНА НЕЙРОННА МЕРЕЖА, LSTM, ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ.

Об'єктом дослідження є процес надходження контейнеропотоків до логістичних хабів у системі контейнерних перевезень.

Метою дослідження є удосконалення технології планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків до логістичних хабів із використанням сучасних методів обробки даних та інформаційних технологій.

У кваліфікаційній роботі досліджено процес планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків до логістичних хабів. Розроблено прогнозну модель із використанням рекурентної нейронної мережі типу LSTM та модель підтримки прийняття рішень щодо планування контейнерних перевезень.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розроблених моделей для підвищення точності прогнозування, скорочення простоїв контейнерів і фітингових платформ, а також удосконалення планування контейнерних перевезень.

Елементи наукової новизни полягають в удосконаленні технології планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків із використанням рекурентної нейронної мережі типу LSTM та розробленні моделі підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності організації перевізного процесу.

ABSTRACT

This qualification work includes 16 presentation slides, 90 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 24 figures, 4 tables, and 40 literature references.

Keywords: CONTAINER TRANSPORTATION, CONTAINER FLOW, LOGISTICS HUB, FORECASTING, RECURRENT NEURAL NETWORK, LSTM, TRANSPORTATION PLANNING.

The object of the study is the process of container flow arrivals at logistics hubs within the container transportation system.

The aim of the study is to improve container transportation planning technology based on forecasting container flow arrivals at logistics hubs using modern data processing methods and information technologies.

The qualification thesis investigates the process of planning container transportation based on forecasting container flows to logistics hubs. A forecasting model based on a Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural network and a decision support model for container transportation planning were developed. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the developed models to improve forecasting accuracy, reduce container and flatcar dwell time, and enhance the efficiency of container transportation planning.

The elements of scientific novelty lie in the improvement of container transportation planning technology through forecasting container flows using a Long Short-Term Memory (LSTM) recurrent neural network and in the development of a decision support model to improve the efficiency of transportation process planning and management.

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

Панченку Владиславу Сергійовичу

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення технології планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків»
керівник Колісник Аліна Володимирівна, канд. техн.наук, доцент
затверджена розпорядженням по факультету управління процесами перевезень
від 23 лютого 2026 року 06/26 №
2. Строк подання студентом роботи 19 червня 2026 року
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Дослідження надходження контейнерів до логістичних хабів різних країнах, статистичні дані вантажних перевезень в Україні і за кордоном 2020-2026 роки.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ.
1 Дослідження стану і тенденцій розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України та заруюіжних країн.
2 Дослідження статистичних даних обсягів перевезення вантажів у контейнерах в Україні та країнах Європи.
3 Дослідження та оцінка технології обробки контейнерів у сучасних логістичних хабах бах 4 Проведення моделювання та отримання прогнозних даних надходження контейнерів до логістичних хабах. 5 Удосконалення структури інформаційно-керуючої системи. перевізного процесу за рахунок використання моделі прогнозування надходження контейнеропотоків. 6 Визначення економічної ефективності від впровадження автоматизованої технології на основі прогнозування надходження контейнеропотоків. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Мета та завдання дослідження 2. Об'єкт, предмет дослідження, елементи наукової новизни 3. Аналіз статистичних даних вантажних перевезень в Україні 4. Схеми логістичних хабів. 5. Дослідження процесу обробки контейнеропотоків на прикордонних станціях. 7. Аналіз вихідних даних та методів для прогнозування надходження контейнеропотоків 8. Модель прогнозу інтенсивності потоку на базі рекурентної нейронної мережі
9. Структура інформаційно-керуючої системи 10. Розрахунки економічної

6. Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічне обґрунтування запропонованого проектного рішення	Наталія ГРИЦЕНКО доцент, канд.екон.наук		

7. Дата видачі завдання 23 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Дослідження стану і тенденцій розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України та зарубіжних країн	30.03.2026	виконано
2 Дослідження статистичних даних обсягів перевезення вантажів у контейнерах в Україні та країнах Європи	15.04.2026	виконано
3. Аналіз технології обробки контейнерів на логістичних хабах	30.04.2026	виконано
4 Проведення моделювання та отримання прогнозних даних надходження контейнерів до логістичних хабах	15.05.2026	виконано
5 Удосконалення структури інформаційно-керуючої системи перевізного процесу за рахунок використання моделі прогнозування надходження контейнеропотоків	30.05.2026	виконано
6 Визначення економічної ефективності від впровадження автоматизованої технології на основі прогнозування надходження контейнеропотоків	15.06.2026	виконано
Оформлення роботи	20.06.2026	виконано

Студент Владислав ПАНЧЕНКО

Керівник Аліна КОЛІСНИК

Зміст

Вступ 6

1 Дослідження стану і тенденцій розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України та зарубіжних країн 11

1.1 Аналіз ролі логістичних хабів у розвитку транспортної інфраструктури 11

1. Розвиток логістичних хабів в Україні в сучасних економічних умовах 14

1.3. Огляд наукових досліджень з питань впливу логістичних принципів на розвиток вантажних перевезень залізницею в Україні 27

2. Дослідження статистичних даних обсягів перевезення вантажів у контейнерах в Україні та країнах Європи 31

3 Дослідження та оцінка технології обробки контейнерів у сучасних логістичних хабах 41

3.1 Огляд обробки контейнерів на контейнерних майданчиках логістичних хабів країн Європи 41

3.2 Технологія обробки контейнерів на контейнерних терміналах України 44

3.3 Дослідження часу обробки контейнеропотоків на контейнерному терміналі 45

3.4 Аналіз вихідних даних та методів для прогнозування надходження контейнеропотоків 50

4 Проведення моделювання та отримання прогнозних даних надходження контейнерів до логістичних хабів 62

4.1 Формування моделі прогнозу інтенсивності потоку на базі рекурентної нейронної мережі 62

4.2 Обробка вихідних даних оптимізаційної моделі та моделювання параметрів потоків надходження контейнерів 67

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	УТПКП.300.00.00.000 ПЗ		
Розроб.		Панченко В.С.		19.06.26	Удосконалення технології планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків	Літ.	
Перевір.		Колісник А.В.		19.06.26		Арк. 6	Акрушів 90
Н. Контр.		Шаповал Г.В.		19.06.26		УкрДУЗТ	
Затверд.		Огар О.М.		19.06.26			

Вступ

Актуальність теми. Логістичні хаби успішно виконують ключову роль у сучасній системі вантажних перевезень, забезпечуючи ефективне управління потоками товарів і ресурсів. З розвитком міжнародної торгівлі та глобалізації, функціонування логістичних послуг стало єдиним з кінцевих ланок у ланцюгу постачання, особливо в контексті інтеграції різних видів транспорту – автомобільного, залізничного, морського та авіаційного. Сучасна логістика вимагає від таких центрів високої гнучкості, автоматизації процесів та оптимального використання ресурсів [1,2].

Особливу увагу в дослідженні приділено участі залізничного транспорту як невід'ємної складової вантажних перевезень у логістичних хабах. Залізниця залишається одним із найбільш економічно ефективних та екологічно чистих видів транспорту, що робить її стратегічно важливою для розвитку логістичних центрів. Взаємодія між залізничним транспортом та іншими видами перевезень у хабах дозволяє забезпечити більш ефективні операції з транспортування вантажів на різні відстані, знижуючи витрати та час доставки.

Магістерська робота присвячена дослідженню ролі логістичних хабів у вантажних перевезеннях із фокусом на залізничний транспорт, визначенню основних тенденцій розвитку таких центрів та аналізу сучасних підходів до управління логістичними процесами. Методом роботи є вивчення впливу логістичних послуг на ефективність вантажних перевезень, а також виявлення основних проблем і перспектив їх розвитку в умовах інтенсифікації міжнародної торгівлі.

Для покращення організації контейнерних перевезень в Україні необхідно забезпечити узгоджену та ритмічну взаємодію всіх учасників процесу перевезення вантажів. Це можна досягти шляхом впровадження автоматизованої технології управління надходженням і транспортуванням контейнерних потоків. Запропонована технологія передбачає використання автоматизованих робочих

місць (АРМ) менеджера з логістики у системі підтримки прийняття рішень, що базується на сучасних методах моделювання контейнеропотоків і прогнозування їхнього надходження.

Зважаючи на це, тема магістерської кваліфікаційної роботи є актуальною та спрямована на вирішення важливих питань вдосконалення технології контейнерних перевезень шляхом прогнозування їх надходження від вантажовідправників [1].

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є удосконалення технології планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків до логістичних хабів із використанням сучасних методів обробки даних та інформаційних технологій.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

- дослідити сучасний стан розвитку логістичних хабів в Україні та за кордоном, а також їх роль в організації контейнерних перевезень;
- провести аналіз статистичних даних щодо обсягів вантажних перевезень залізничним транспортом, зокрема контейнерних перевезень, та визначити основні тенденції їх розвитку;
- дослідити закономірності надходження контейнеропотоків від вантажовідправників до логістичних хабів і обґрунтувати вибір методу прогнозування їх параметрів;
- розробити модель прогнозування надходження контейнеропотоків на основі рекурентної нейронної мережі для підвищення точності планування контейнерних перевезень;
- удосконалити технологію планування контейнерних перевезень шляхом використання прогнозної інформації про надходження контейнеропотоків;
- розробити пропозиції щодо вдосконалення інформаційно-керуючої системи взаємодії логістичних хабів, сортувальних та прикордонних станцій;
- виконати техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих заходів.

Об'єкт дослідження – процес надходження контейнеропотоків до логістичних хабів у системі контейнерних перевезень.

Предмет дослідження – автоматизована технологія управління процесом планування контейнеропотоків на основі прогнозної моделі їх надходження до логістичних хабів.

Елементи наукової новизни. Елементи наукової новизни полягають у розробленні математичної моделі прогнозування надходження контейнеропотоків до логістичних хабів від вантажовідправників на основі рекурентних нейронних мереж, що, на відміну від існуючих підходів, враховує часову динаміку та нерівномірність надходження контейнерів і забезпечує підвищення точності прогнозування для удосконалення процесу планування контейнерних перевезень.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання розробленої моделі прогнозування для підвищення ефективності планування контейнерних перевезень, раціонального використання пропускної та переробної спроможності логістичних хабів, а також удосконалення інформаційно-керуючих систем взаємодії учасників транспортно-логістичного процесу.

1 Дослідження стану і тенденцій розвитку транспортно-логістичної інфраструктури України та зарубіжних країн

1.1 Аналіз ролі логістичних хабів у розвитку транспортної інфраструктури

У сучасній транспортно-логістичній системі важливе місце займають логістичні хаби, які забезпечують ефективне управління вантажопотоками та координацію транспортних процесів. Термін «хаб» походить від англійського слова *hub*, що у перекладі означає «центр», «вузол» або «точка з'єднання». У транспортній та логістичній сфері хаб розглядається як центральний вузол, через який проходить значна частина вантажних або пасажирських потоків.

Логістичний хаб являє собою спеціалізований транспортно-логістичний центр, призначений для приймання, накопичення, обробки, сортування, перевантаження та подальшого розподілу вантажів між різними видами транспорту та напрямками перевезень. Основною особливістю хабу є концентрація великої кількості логістичних операцій в одному місці, що дозволяє забезпечити високу ефективність транспортного процесу.

Фактично логістичний хаб виконує функцію центрального вузла транспортної мережі, де здійснюється:

- консолідація вантажів;
- розподіл вантажопотоків;
- перевантаження між видами транспорту;
- тимчасове зберігання продукції;
- митне оформлення;
- інформаційне супроводження перевезень.

Сучасні логістичні хаби поєднують у собі транспортну, складську, інформаційну та сервісну інфраструктуру. Вони можуть включати:

- контейнерні термінали;
- складські комплекси;

- сортувальні центри;
- митні пункти;
- перевантажувальні майданчики;
- інформаційно-диспетчерські системи.

Основне призначення логістичного хабу полягає у забезпеченні ефективної взаємодії різних видів транспорту в межах мультимодальних та інтермодальних перевезень. Завдяки цьому скорочується час доставки вантажів, зменшуються транспортні витрати та підвищується рівень логістичного обслуговування.

Особливого значення логістичні хаби набувають у міжнародних транспортних коридорах, де вони забезпечують перерозподіл великих обсягів вантажів між країнами та регіонами. Такі хаби зазвичай розміщуються:

- поблизу морських портів;
- на прикордонних переходах;
- біля великих залізничних вузлів;
- у районах концентрації промислових підприємств;
- поблизу міжнародних автомагістралей.

У сучасних умовах логістичний хаб є не лише транспортним вузлом, а й важливим елементом економічної інфраструктури держави, який забезпечує розвиток міжнародної торгівлі, підвищення конкурентоспроможності транспортної системи та інтеграцію країни у світові логістичні мережі.

Для України розвиток логістичних хабів має стратегічне значення, оскільки дозволяє підвищити ефективність експортно-імпортних перевезень, розширити транзитний потенціал держави та забезпечити інтеграцію транспортної системи України до європейського транспортного простору.

У сучасних умовах розвитку міжнародної торгівлі та глобалізації транспортних процесів особливого значення набуває створення логістичних хабів, які забезпечують ефективну організацію вантажопотоків, прискорення доставки продукції та оптимізацію транспортно-логістичних процесів. Логістичні хаби виступають ключовими елементами транспортної інфраструктури, які поєднують

різні види транспорту, забезпечують накопичення, сортування, переробку та подальший розподіл вантажів.

Функціональне значення логістичних хабів полягає насамперед у забезпеченні безперервності та узгодженості логістичних операцій між виробниками, перевізниками та споживачами продукції. Завдяки створенню сучасних логістичних центрів значно скорочується час обробки вантажів, зменшуються транспортні витрати та підвищується ефективність використання транспортних засобів і складських потужностей.

Однією з основних функцій логістичних хабів є забезпечення взаємодії різних видів транспорту в межах мультимодальних перевезень. Це дозволяє здійснювати швидке перевантаження вантажів між залізничним, автомобільним, морським та авіаційним транспортом, що особливо важливо для міжнародних перевезень та розвитку транспортних коридорів.

Важливе значення логістичні хаби мають для розвитку контейнерних та інтермодальних перевезень. Використання сучасних перевантажувальних комплексів, автоматизованих складських систем і цифрових технологій управління вантажопотоками забезпечує підвищення пропускної спроможності транспортної системи та скорочення простоїв рухомого складу.

Створення логістичних хабів також сприяє:

- оптимізації маршрутів перевезення вантажів;
- зменшенню собівартості транспортних послуг;
- підвищенню швидкості доставки продукції;
- розвитку міжнародної торгівлі;
- покращенню експортного потенціалу держави;
- підвищенню конкурентоспроможності транспортної галузі.

Для України розвиток логістичних хабів має особливе значення у зв’язку з необхідністю інтеграції до європейської транспортної системи та забезпечення ефективного функціонування міжнародних транспортних коридорів. У сучасних умовах значна увага приділяється розвитку прикордонних логістичних терміналів,

мультимодальних центрів та контейнерних хабів, які забезпечують перерозподіл вантажопотоків між країнами Європи та Азії.

Крім економічного ефекту, створення логістичних хабів позитивно впливає на розвиток регіональної інфраструктури, створення нових робочих місць та залучення інвестицій у транспортну галузь. Впровадження сучасних інформаційних систем управління, автоматизація складських процесів та цифровізація логістики дозволяють підвищити рівень ефективності функціонування транспортно-логістичних систем.

Отже, логістичні хаби є важливими елементами сучасної транспортної інфраструктури, які забезпечують ефективну організацію вантажних перевезень, розвиток мультимодальної логістики та інтеграцію транспортної системи України до міжнародного транспортного простору.

1. Розвиток логістичних хабів в Україні в сучасних економічних умовах

Під час проєктування логістичних хабів одним із найважливіших критеріїв вибору місця розташування є наявність зручних транспортних підходів та можливість взаємодії різних видів транспорту. Ефективне функціонування сучасного логістичного центру безпосередньо залежить від рівня розвитку транспортної інфраструктури, пропускної спроможності залізничних і автомобільних підходів, а також можливості організації мультимодальних перевезень.

Аналіз існуючої мережі інтермодальних терміналів на території України показує, що більшість із них розташована поблизу державного кордону. Таке розміщення забезпечує більш ефективну організацію міжнародних перевезень, скорочення часу доставки вантажів та спрощення процесу взаємодії між транспортними системами України та країн Європейського Союзу.

У сучасних умовах воєнного стану функціонування та розвиток логістичних хабів у південних регіонах України, зокрема в Одеському регіоні, значно ускладнилися через обмеження роботи морських портів, пошкодження транспортної інфраструктури та ризики безпеки. У зв'язку з цим основна частина вантажопотоків була переорієнтована на західний регіон України та прикордонні логістичні центри, які забезпечують перевезення вантажів у напрямку країн Європи.

Одним із найбільш перспективних об'єктів розвитку інтермодальних перевезень в Україні є логістичний хаб «Контейнерний термінал Мостиська». Даний термінал є одним із найбільших інтермодальних комплексів України за рівнем пропускної спроможності та вантажомісткості. Проєктна потужність терміналу становить близько 100 тис. TEU на рік, при цьому триває подальша модернізація та розширення інфраструктури з метою збільшення потужності до 200 тис. TEU. У середньому рівень завантаження терміналу у 2022 році становив близько 65 %, що свідчить про високий попит на послуги даного логістичного комплексу.

Особливістю організації інтермодальних перевезень є необхідність забезпечення стикування залізничних колій різних стандартів — широкої колії 1520 мм та європейської колії 1435 мм. Саме наявність двох стандартів колії є однією з ключових переваг «Контейнерного терміналу Мостиська», оскільки це дозволяє здійснювати швидке перевантаження контейнерів та організовувати ефективну взаємодію між українською та європейською транспортними системами (рис.1.1).

У перспективі завдяки вигідному географічному положенню та сучасному технічному оснащенню термінал може перетворитися на потужний міжнародний логістичний хаб, який забезпечуватиме перевезення вантажів не лише між Україною та сусідніми країнами, але й між державами Європи та Азії.

Загальна площа терміналу перевищує 36 гектарів, що дозволяє здійснювати обробку значної номенклатури вантажів, зокрема контейнерних; зернових; наливних; навалочних вантажів.

Термінал оснащений власними маневровими локомотивами для колії 1520 мм та 1435 мм, що значно підвищує ефективність маневрової роботи та скорочує час обробки поїздів. Місткість контейнерного майданчика становить близько 4000 TEU, а добова кількість поїздів, які формуються та відправляються з терміналу, складає до 4 пар у напрямку EU/UA. Інфраструктура терміналу включає 8 залізничних колій загальною довжиною близько 7,7 км.

Вигідне місце розташування логістичного хабу створює сприятливі умови для організації міжнародних контейнерних та контрейлерних перевезень між країнами Європи та Україною. Важливу роль у розвитку терміналу відіграє співпраця з логістичними компаніями NUNIT та «Левада Карго», що дозволяє розширювати перелік транспортно-логістичних послуг, збільшувати обсяги перевезень та залучати нових клієнтів.

Отже, розвиток сучасних логістичних хабів є важливою складовою модернізації транспортної системи України. Використання інтермодальних технологій, розвиток прикордонної інфраструктури та інтеграція до європейської транспортної мережі створюють передумови для підвищення ефективності міжнародних перевезень та зміцнення транзитного потенціалу держави.

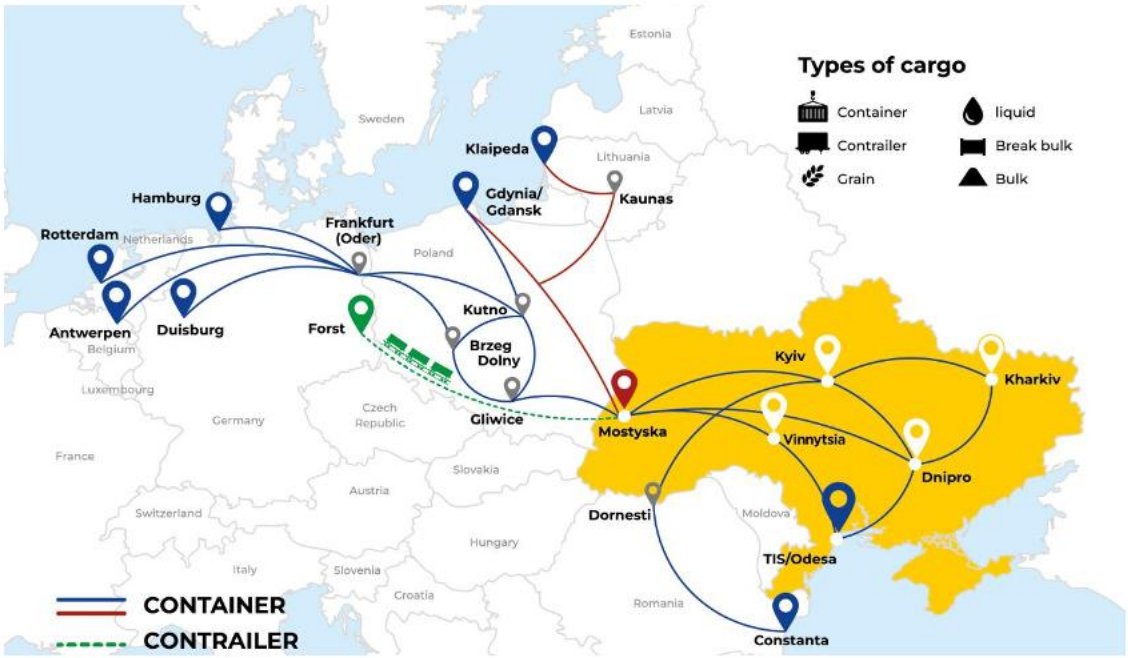


Рисунок 1.1 - Схема міжнародних транспортно-логістичних маршрутів та вантажопотоків «Контейнерного терміналу Мостиська»

Одним із найбільш потужних та технічно оснащених логістичних комплексів на території України є Одеський «Сухий порт», який розпочав свою діяльність у 2005 році. Даний логістичний центр являє собою сучасний мультимодальний хаб, призначений для організації ефективної взаємодії між морським, залізничним та автомобільним транспортом. Завдяки розвиненій інфраструктурі та використанню сучасного перевантажувального обладнання термінал забезпечує високий рівень обробки вантажів і є важливою складовою транспортно-логістичної системи України (рис.1.2).

Основною перевагою Одеського «Сухого порту» є його вигідне географічне розташування поблизу морського узбережжя та безпосередній зв'язок з Одеським морським портом. Це дозволяє вантажовідправникам та логістичним компаніям користуватися перевагами морського порту без необхідності безпосереднього розміщення вантажів у портовій зоні. Така організація транспортного процесу сприяє зменшенню навантаження на міську транспортну інфраструктуру, скороченню часу обробки вантажів та підвищенню ефективності мультимодальних перевезень.

Однією з ключових особливостей даного логістичного комплексу є реалізація концепції «єдиного офісу», відповідно до якої в межах одного терміналу зосереджені всі необхідні державні служби та сервісні структури, що беруть участь у процесі оформлення вантажоперевезень. Це значно спрощує процедуру митного контролю, оформлення документації та скорочує час перебування вантажів на терміналі.

Важливим елементом інфраструктури Одеського «Сухого порту» є спеціалізована транспортна естакада, яка забезпечує пряме сполучення між терміналом та Одеським морським портом. Особливістю даної естакади є відсутність перетину з міськими транспортними магістралями, що дозволяє мінімізувати затримки під час перевезення контейнерів та підвищити безпеку транспортного процесу.

Крім того, термінал має вигідне примикання до залізничної та автомобільної інфраструктури. Логістичний центр розташований у безпосередній близькості до залізничних станцій:

- «Одеса-Сортувальна»;
- «Одеса-Товарна»;
- «Одеса-Пересип»;
- «Одеса-Порт».

Таке розташування забезпечує ефективну організацію залізничних перевезень та прискорює процеси формування і відправлення вантажних поїздів.

Додатковою перевагою Одеського «Сухого порту» є його інтеграція до пункту пропуску «Одеса-Порт». Завдяки цьому переміщення вантажів між морським портом та логістичним терміналом здійснюється без необхідності оформлення додаткових митних документів, що суттєво скорочує тривалість логістичних операцій та знижує витрати на обробку вантажів.

У сучасних умовах Одеський «Сухий порт» відіграє важливу роль у забезпеченні експортно-імпортних перевезень України, розвитку контейнеризації вантажів та функціонуванні міжнародних транспортних коридорів. Використання сучасних технологій управління логістичними процесами, автоматизованих систем контролю та високопродуктивного перевантажувального обладнання дозволяє забезпечити ефективне функціонування терміналу навіть в умовах значного навантаження на транспортну систему.

Отже, Одеський «Сухий порт» є одним із ключових логістичних хабів України, який забезпечує ефективну організацію мультимодальних перевезень, сприяє розвитку міжнародної торгівлі та підвищенню конкурентоспроможності транспортно-логістичної інфраструктури держави.

Територія Одеського «Сухого порту» займає близько 42 гектарів, що становить понад 420 тис. м². Значна площа логістичного комплексу дозволяє забезпечувати ефективну організацію транспортно-логістичних процесів та здійснювати одночасне обслуговування великої кількості вантажів різної номенклатури. Однією з головних переваг даного логістичного хабу є можливість організації

мультимодальних перевезень із використанням декількох видів транспорту одночасно — морського, автомобільного та залізничного.



Рисунок 1.2.- Інфраструктура мультимодального логістичного хабу «Одеський сухий порт»

На території логістичного комплексу розташована сучасна інфраструктура, яка включає:

- контейнерні майданчики для зберігання вантажів;
- транзитні площадки;
- склади тимчасового зберігання;
- комплекси для обробки збірних вантажів;
- митні та сервісні зони;
- адміністративно-логістичні приміщення.

Наявність сучасного перевантажувального обладнання, автоматизованих систем управління та розвиненої транспортної інфраструктури дозволяє значно скоротити час обробки вантажів і підвищити ефективність міжнародних перевезень. Одеський «Сухий порт» відіграє важливу роль у забезпеченні контейнерних перевезень та функціонуванні міжнародних транспортних коридорів, які з'єднують Україну з країнами Європи, Азії та Близького Сходу.

Одним із сучасних логістично-індустріальних комплексів західного регіону України є логістичний хаб Sparrow Park Lviv, який розташований у промисловій зоні «Сигнівка» у Львові. Хаб має вигідне транспортно-географічне розташування поблизу міжнародних автомобільних магістралей та залізничної інфраструктури, що створює сприятливі умови для розвитку мультимодальних перевезень та міжнародної логістики. (рис.1.3).

Термінальна інфраструктура комплексу включає сучасний залізничний термінал, складські та виробничі приміщення класу «А», контейнерні майданчики, адміністративні будівлі та інженерно-технічну інфраструктуру. Загальна площа індустріального парку становить близько 19 гектарів, а загальна площа складських та виробничих приміщень перевищує 113 тис. м².

Однією з ключових переваг логістичного хабу є наявність власного залізничного терміналу та прямого примикання до залізничної мережі. Це дозволяє організовувати контейнерні перевезення між Україною, країнами Європейського Союзу, Близького Сходу та Азії. Особливу роль термінал відіграє у формуванні контейнерних поїздів та забезпеченні функціонування міжнародних транспортних коридорів.

Інфраструктура логістичного хабу передбачає:

- контейнерний термінал;
- складські комплекси;
- виробничі приміщення;
- автомобільні під'їзні шляхи;
- залізничні колії;
- адміністративно-побутові будівлі;
- енергетичну та інженерну інфраструктуру.

Важливою складовою функціонування Sparrow Park Lviv є сучасне інженерне забезпечення. Територія комплексу оснащена системами електропостачання потужністю близько 7 МВт, водопостачанням, газопостачанням та телекомунікаційними мережами.

Логістичний хаб має вигідне розташування відносно міжнародних транспортних коридорів:

- близько 60 км до кордону з Польщею;
- безпосередній вихід до міжнародної траси Е40;
- зручне сполучення з європейськими логістичними центрами.

У сучасних умовах Sparrow Park Lviv відіграє важливу роль у переорієнтації вантажопотоків із південних регіонів України до західних логістичних центрів. Розвиток даного хабу сприяє інтеграції транспортної системи України до європейського логістичного простору, підвищенню ефективності контейнерних перевезень та розвитку інтермодальної логістики.





Рисунок 1.3 –Термінальна інфраструктура логістичного хабу Sparrow Park Lviv

До сучасних та потужних логістичних хабів, розташованих на території України, належить «Західний контейнерний термінал», який розпочав свою діяльність у 2007 році та сьогодні є одним із важливих елементів транспортно-логістичної інфраструктури західного регіону держави. Даний термінал являє собою сучасний логістичний комплекс, призначений для виконання широкого спектра операцій, пов'язаних із контейнерними перевезеннями, обробкою вантажів та організацією мультимодальних транспортних процесів (рис. 1.4).

Основною функцією терміналу є забезпечення ефективної взаємодії між залізничним та автомобільним транспортом під час перевезення контейнерів у внутрішньому та міжнародному сполученні. Завдяки вигідному географічному

розташуванню поблизу західного кордону України термінал відіграє важливу роль у формуванні міжнародних транспортних коридорів та забезпеченні логістичних зв'язків між Україною та країнами Європейського Союзу.

Інфраструктура «Західного контейнерного терміналу» включає:

- контейнерні майданчики;
- залізничні під'їзні колії;
- автомобільні під'їзні шляхи;
- складські комплекси;
- митні та сервісні зони;
- сучасне перевантажувальне обладнання.

Наявність спеціалізованої техніки та сучасних систем управління вантажопотоками дозволяє здійснювати швидке перевантаження контейнерів, скорочувати час обробки вантажів та підвищувати ефективність транспортного процесу. На території терміналу виконуються операції з накопичення, сортування, тимчасового зберігання та подальшого відправлення контейнерів у різних напрямках.

Важливою перевагою логістичного хабу є можливість організації інтермодальних перевезень із використанням декількох видів транспорту. Це сприяє оптимізації логістичних маршрутів, зменшенню транспортних витрат та підвищенню конкурентоспроможності української транспортної системи на міжнародному ринку.

У сучасних умовах «Західний контейнерний термінал» відіграє важливу роль у переорієнтації вантажопотоків із південних регіонів України до західних логістичних центрів. Розвиток даного логістичного комплексу сприяє інтеграції транспортної інфраструктури України до європейської логістичної мережі та забезпечує стабільність міжнародних контейнерних перевезень.

Західноукраїнський контейнерний термінал (ЗКТ), розташований у місті Тернопіль, є одним із важливих логістичних хабів західного регіону України. Вигідне географічне положення терміналу у центральній частині Західної України забезпечує його рівновіддаленість від основних обласних центрів регіону, що

створює сприятливі умови для організації внутрішніх та міжнародних вантажних перевезень.



Рисунок 1.4.-Схема Західного контейнерного терміналу

Сучасна інфраструктура терміналу, наявність спеціалізованого перевантажувального обладнання та власного транспортного парку дозволяють здійснювати повний комплекс транспортно-логістичних послуг, пов'язаних із зберіганням, обробкою та доставкою різних видів вантажів відповідно до потреб клієнтів. Термінал забезпечує ефективне функціонування контейнерних, зернових та палетних перевезень, що сприяє розвитку мультимодальної логістики та інтеграції транспортної системи України до міжнародних транспортних коридорів. Місткість контейнерного терміналу становить близько 2500 TEU, що дозволяє забезпечувати накопичення та обробку значних обсягів контейнерних вантажів. На території логістичного комплексу також функціонує склад для зберігання агропродукції місткістю до 15 тис. тонн із можливістю відвантаження зерна у хопери-зерновози, що є важливою перевагою для розвитку аграрної логістики та експортних перевезень.

Крім того, термінал має складські приміщення для зберігання палетних вантажів загальною площею близько 5000 м². Це дозволяє забезпечувати зберігання та обробку широкого спектра товарів різної номенклатури.

Однією з ключових особливостей Західноукраїнського контейнерного терміналу є можливість формування контейнерних поїздів Maersk Block Train, які забезпечують сполучення між Одеським морським портом та мережею логістичних терміналів на території України та країн Європейського Союзу. Використання контейнерних поїздів дозволяє:

- скоротити тривалість доставки вантажів;
- підвищити регулярність перевезень;
- зменшити логістичні витрати;
- забезпечити стабільність міжнародних транспортних ланцюгів.

Завдяки розвитку контейнерних маршрутів та інтермодальних технологій Західноукраїнський контейнерний термінал відіграє важливу роль у забезпеченні міжнародних перевезень та формуванні сучасної транспортно-логістичної інфраструктури України.

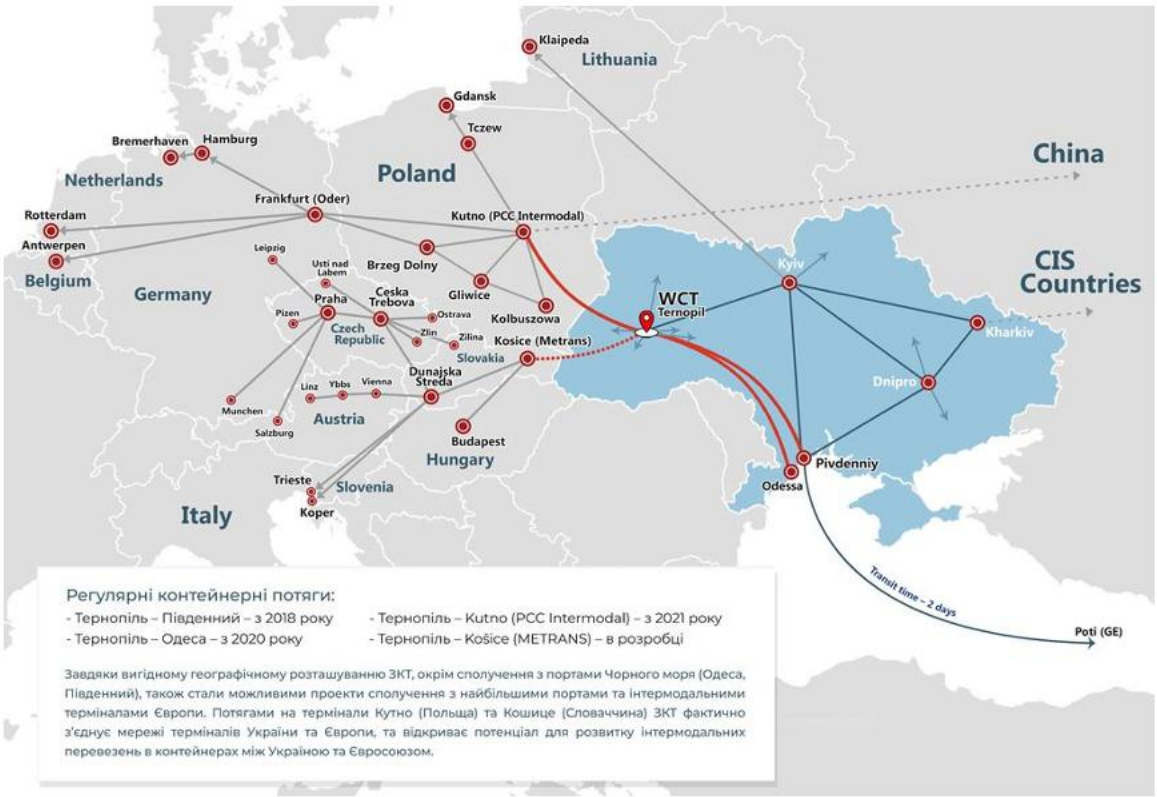


Рисунок 1.5.- Схема маршрутів контейнерного поїзда Maersk Block Train через Західноукраїнський контейнерний термінал

На території Західноукраїнського контейнерного терміналу надається широкий спектр транспортно-логістичних та складських послуг, що дозволяє забезпечувати комплексне обслуговування вантажопотоків у внутрішньому та міжнародному сполученні. Сучасне технічне оснащення терміналу та розвинена інфраструктура створюють сприятливі умови для організації мультимодальних перевезень і підвищення ефективності транспортного процесу.

До основних послуг, які надаються на терміналі, належать:

- організація залізничних перевезень вантажів у контейнерах, напіввагонах, хоперах та критих вагонах територією України та країн Європи;
- виконання автомобільних перевезень контейнеровозами та тентованими автомобілями;
- навантаження та розвантаження транспортних одиниць на території терміналу;
- зберігання вантажів на відкритих майданчиках і складських приміщеннях, у тому числі на митному складі;
- здійснення операцій з перетарювання вантажів;
- наявність сертифікованого складу для зберігання зернових вантажів та пестицидів;
- функціонування сертифікованої зернової лабораторії;
- стафірування зерна із використанням опрокидувача A-WARD та завантаження у хопери-зерновози;
- документальний та митно-брокерський супровід вантажних перевезень.

Таким чином, сучасні логістичні хаби, розташовані на території України, мають достатній рівень технічного оснащення та інфраструктурного забезпечення для організації міжнародних вантажних перевезень. Важливою перевагою таких логістичних центрів є надання широкого спектра митно-брокерських та супровідних послуг, що значно спрощує процес оформлення вантажів та підвищує ефективність транспортно-логістичних операцій.

Разом із тим існує низка проблем, які стримують повноцінне функціонування та подальший розвиток логістичних хабів в Україні.

Однією з найбільш актуальних проблем є різниця ширини залізничної колії між Україною та країнами Європейського Союзу. На території України використовується ширина колії 1520 мм, тоді як у більшості європейських країн — 1435 мм. Унаслідок цього під час міжнародних перевезень виникає необхідність здійснення заміни вагонних візків або перевантаження вантажів у вагони європейського стандарту. Особливо складною така процедура є для неконтейнеризованих вантажів. Це призводить до збільшення тривалості доставки; непродуктивних простоїв рухомого складу; додаткових фінансових витрат; зниження ефективності використання пропускної спроможності прикордонних переходів.

Ще однією проблемою є нерівномірний розподіл вантажопотоків між західними прикордонними переходами України. Найбільше навантаження спостерігається на переходах із Польщею, тоді як прикордонні переходи з Угорщиною та окремими іншими країнами використовуються менш інтенсивно. Така ситуація призводить до перевантаження окремих транспортних вузлів і збільшення часу обробки вантажів.

Суттєвим стримуючим фактором також є обмежена кількість та недостатня пропускна спроможність прикордонних залізничних переходів. На сьогодні в Україні функціонує лише 13 вантажних залізничних переходів: 4 — з Польщею; 3 — з Молдовою; по 2 — зі Словаччиною, Румунією та Угорщиною.

При цьому потреба у пропускній спроможності західних переходів оцінюється на рівні близько 6,6 млн т вантажів на місяць, тоді як фактична пропускна здатність становить лише близько 3,8 млн т щомісяця, що складає приблизно 57,8 % від необхідного рівня.

Окремою проблемою залишається невідповідність габаритів українського рухомого складу європейським стандартам. Українські вагони мають більші розміри порівняно з європейськими, що обмежує можливість їх використання на залізницях країн ЄС. Великогабаритний рухомий склад може створювати загрозу

пошкодження тунелів, платформ, мостів та інших елементів транспортної інфраструктури, унаслідок чого його експлуатація на європейських залізницях є суттєво обмеженою.

Незважаючи на активний розвиток логістичних хабів, рівень емпіричних досліджень щодо їх функціонування та впливу на транспортну систему залишається недостатнім. Більшість існуючих моделей попиту на вантажні перевезення не враховують у повному обсязі роль сучасних логістичних центрів у формуванні вантажопотоків.

У зв'язку з цим важливого значення набувають емпіричні дослідження та моделювання транспортно-логістичних процесів, які дозволяють:

- оцінити вплив логістичних хабів на транспортну систему;
- визначити ефективність функціонування міжнародних транспортних коридорів;
- прогнозувати попит на транспортні послуги;
- досліджувати фактори, що впливають на формування вантажопотоків;
- обґрунтовувати напрями модернізації транспортної інфраструктури.

Отже, подальший розвиток логістичних хабів та вдосконалення транспортно-логістичної інфраструктури є важливою передумовою підвищення конкурентоспроможності транспортної системи України та забезпечення ефективної інтеграції держави до міжнародного транспортного простору.

1.3. Огляд наукових досліджень з питань впливу логістичних принципів на розвиток вантажних перевезень залізницею в Україні

В [3] транспортно-логістичні центри сьогодні мають велике значення для транспортної логістики, оскільки транспорт все більше управляється та обробляється в цих вузлах. Таким чином, вони мають значний вплив на формування вантажного транспорту. Вони відіграють вирішальну роль у

транспортних процесах, оскільки товарні потоки згруповані та зосереджені в цих точках. Тим не менш, транспортно-логістичні вузли (наприклад, розташування експедиторських компаній, термінали комбінованих перевезень) навряд чи інтегруються в моделювання попиту на вантажні перевезення та рідко охоплюються емпірично.

В [4] результати дослідження показали, що транспортно-логістичні компанії виконують набагато більше цілей сталого розвитку, ніж очікувалося. Транспортні та логістичні компанії активно виконують цілі щодо якісної освіти, гендерної рівності та чистої енергії на додаток до на додаток до цілей зі скорочення викидів та пом'якшення наслідків зміни клімату. Компанії розробили політику, яка значно розширює вплив на інші сфери, окрім про транспортних та логістичних послуг, а також на інші сфери.

В [5] обговорюється моделювання попиту на вантажні перевезення на основі товарів і на основі поїздок транспортних засобів. Розглядаються характеристики розподілу довжини рейсів (РДП), визначені в тоннах, як це вимагається при моделюванні на основі обсягів перевезених товарів, і в кількості рейсів транспортних засобів, як це вимагається при моделюванні на основі рейсів.

В [6] обгрунтовано підстави для розгляду методу прогнозування вантажопотоків на регіональному або національному рівні, що відрізняється від того, що зазвичай використовувався в минулому. Цей підхід повинен починатися з інтегрованих рішень, що приймаються фірмами-репрезентантами при розробці мереж постачання і дистрибуції, включаючи рішення щодо розташування об'єктів, транспортування та рівень запасів, а також характеристики послуг, що надаються до клієнтської бази. Для конкретних переміщень у цій мережі наведено більш детальний аналіз інвентаризації та транспортних витрат щоб визначити репрезентативні розміри суден, частоту перевезень і розмірів, частоти та вибору видів транспорту.

В [7] описано як на сектор вантажних перевезень впливають логістичні принципи виробництва та дистрибуції. Стаття представить нові способи розуміння вантажних перевезень як невід'ємної частини мінливих тенденцій мобільності.

Крім того, вона також має на меті описати, як рушійні сили мобільності впливають на транспортну галузь. Це, однак, пов'язано з методологічними труднощами, оскільки в логістичному мисленні, як правило, відсутнє поняття транспорту. Можна з упевненістю сказати, що існує серйозний брак знань про те, якими є наслідки різних логістичних концепцій з точки зору транспорту в ланцюговому контексті.

В [8] присвячено теоретичним аспектам організації мультимодальних та інтермодальних перевезень вантажів. При перевезенні вантажів застосовуються різні схеми перевезень, кожна з яких має певні особливості. Вибір логістичної технології залежить від характеристик вантажу, терміновості доставки та бюджету. Часто всі аспекти логістичного процесу знаходяться в різних країнах і на різних континентах. Це виключає можливість прямої доставки «до дверей». Ситуація вимагає планування ефективного логістичного ланцюга, в якому товар послідовнодоставляються кількома видами вантажного транспорту. Перевезення одним видом транспорту затягує процес доставки, а часто унеможливлює його взагалі. Такі перевезення є дорогими та незручними. Політика мультимодальних перевезень спрямована на забезпечення кращої інтеграції різних видів транспорту та налагодження взаємодії на всіх рівнях транспортної системи.

В [9] визначено таксономію штучного інтелекту на залізницях. Вона дає всебічне визначення ШІ, яке є актуальним і дуже корисним для науковців і практиків у галузі залізничного транспорту. Щоб розглянути складний світ ШІ та застосувати його до залізниць, ми класифікуємо ШІ за трьома основними класами: дослідницькі галузі, методи та застосування, а також пояснюємо їх основні характеристики. Крім того, на відміну від попередніх досліджень, ця робота охоплює залізничні системи цілісно, включаючи технічне обслуговування, безпеку, автономне водіння, транспортне планування, управління доходами, транспортну політику.

В [11] роботі розглядається проблема організації мультимодальних перевезень із залученням залізничного транспорту в сучасних умовах. Виявлено чинники, що підтримують розвиток мультимодальних перевезень та транспортних

систем цього типу, а також описано труднощі стандартизації інформаційних процесів у транспортній сфері, особливо для малого та середнього бізнесу. Запропоновано концепцію застосування агентної моделі з використанням стандартизованих повідомлень для управління інформаційними потоками у віртуальних мультимодальних транспортних кластерах.

В [12] зазначено,що наведена імітаційна модель з агентними принципами, побудована на логістичних підходах, може суттєво оптимізувати технологію роботи залізничного вузла. Завдяки цій моделі вузловий диспетчер отримує актуальну інформацію для відстеження стану та завантаженості кожного елемента керуючої системи, що дозволяє приймати ефективні рішення щодо його використання. Результати моделювання надаються через автоматизоване робоче місце (АРМ) вузлового (поїзного) диспетчера, виконуючи функцію системи підтримки прийняття рішень.

2. Дослідження статистичних даних обсягів перевезення вантажів у контейнерах в Україні та країнах Європи

2.1 Аналіз статистичних даних контейнерних перевезень в Україні

В Європі контейнеризація займає 50 % від загального обсягу вантажоперевезень. З кожним роком цей тренд тільки зростає. Адже перевезення в контейнерах мають багато переваг, особливо при використанні їх в умовах інтермодальних перевезень. Відомо, що ширина колії в більшості країн Європи віідрізняється від ширини колії, яка застосовується в Україні. При організації інтермодальних перевезень залізницею, необхідною умовою є перехід стиків колій 1435/1520 мм. Є декілька варіантів переходу стиків: перестановка візків або перевантаження контейнера з вантажем. Для зручності перевантаження вантажу з одного рухомого складу на інший або навіть на інший вид транспорту, контейнери є незамінимою одиницею, яка дозволяє виконати ці операції не чипаючи вантаж, швидко і зручно. Тому з кожним роком обсяги такого виду перевезень набирають все більше обертів.

Аналіз статистичних даних по контейнерним перевезенням в Україні та за кордоном свідчить про тенденцію їх збільшення з кожним роком, незважаючи на воєнний час.

На рисунку 2.1. наведено динаміку обсягів перевезених контейнерів АТ «Укрзалізниця» у 2021–2026 роках. Графік відображає зміну обсягів контейнерних перевезень у ДФЕ (TEU) та демонструє вплив економічних, логістичних і воєнних факторів на функціонування системи комбінованих перевезень в Україні.

У 2021 році обсяг контейнерних перевезень становив близько 280 тис. ДФЕ, що було одним із найвищих показників за досліджуваний період. У 2022 році спостерігалося різке скорочення перевезень до 150 тис. ДФЕ, що було зумовлено початком повномасштабної війни, руйнуванням логістичної інфраструктури,

блокуванням морських портів та зміною напрямків експортно-імпортних перевезень.

Починаючи з 2023 року, спостерігається поступове відновлення контейнерних перевезень. Обсяги перевезень зросли до 201 тис. ДФЕ, що пов'язано з адаптацією транспортно-логістичної системи до нових умов роботи, розвитком сухих портів, інтермодальних терміналів та активізацією міжнародних комбінованих маршрутів [13].

У 2024 році обсяг контейнерних перевезень досяг 258 тис. ДФЕ, що на 28 % більше порівняно з 2023 роком та майже відповідає довоєнному рівню. Основним фактором зростання стало збільшення експортних перевезень, розвиток контейнерних сервісів АТ «Укрзалізниця» та інтеграція української логістики до європейських транспортних коридорів.

У 2025 році зафіксовано незначне зниження контейнерних перевезень до 241,6 тис. ДФЕ, що пояснюється загальним скороченням вантажообігу в Україні, нестабільністю зовнішньої торгівлі та впливом воєнних ризиків на транспортну систему.

Прогнозне значення на 2026 рік становить близько 255 тис. ДФЕ. Прогноз базується на тенденції поступового відновлення міжнародних контейнерних перевезень, розвитку інтермодальних терміналів, цифровізації логістичних процесів та розширенні мережі комбінованих транспортних маршрутів між Україною та країнами Європейського Союзу.

Таким чином, аналіз динаміки контейнерних перевезень АТ «Укрзалізниця» свідчить про поступове відновлення та стабілізацію ринку комбінованих перевезень, а також підтверджує перспективність розвитку інтермодальної логістики та контейнерних транспортних технологій в Україні (рис.2.1).

Можна зробити висновки, що незалежно від надзвичайних ситуацій, обсяги перевезених вантажів у контейнерах тримаються на одному рівні, а то і спостерігається тенденція їх збільшення. Тому дослідження надходження контейнерів на логістичні хаби, з подальшим удосконаленням технології їх обробки для зменшення непродуктивних простоїв є актуальним питанням.

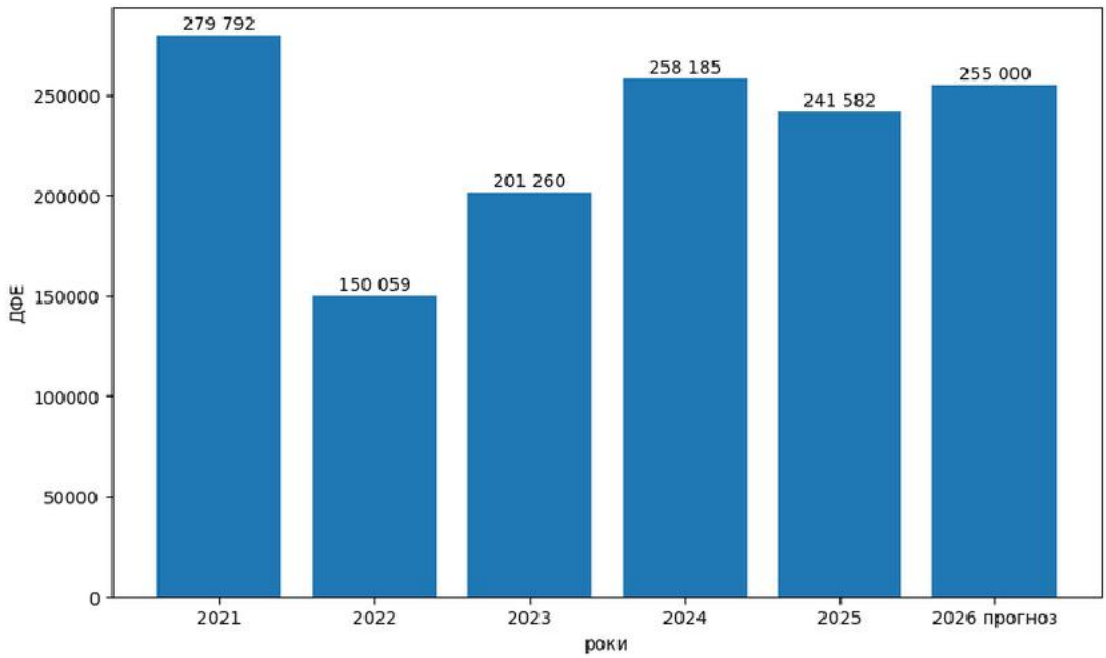


Рисунок 2.1.- Динаміка обсягів перевезених контейнерів по АТ Укрзалізниця за 2021-2026 роки

На рисунку наведено структуру вантажів, що перевозяться у контейнерах залізничним транспортом АТ «Укрзалізниця» у 2024–2025 роках. Аналіз структури контейнерних перевезень свідчить про домінування зернових вантажів, частка яких становить близько 41 %. Це пояснюється переорієнтацією експортних потоків аграрної продукції на інтермодальні та комбіновані транспортні маршрути в умовах обмеження роботи морських портів України.

Другу позицію займають чорні метали — 16 %, що пов'язано з відновленням експортних поставок металопродукції до країн Європейського Союзу. Значну частку в структурі контейнерних перевезень також становлять жмихи — 9 % та олія — 7 %, які формують основу аграрного експорту України та активно перевозяться у контейнерах через прикордонні інтермодальні термінали.

Частка синтетичних смол становить 5 %, цукру — 4 %, а хімічної продукції — 3 %. Крім того, близько 15 % припадає на інші види вантажів, до яких належать будівельні матеріали, продукція машинобудування, товари народного споживання та інші генеральні вантажі.

Динаміка показників за 2024–2025 роки свідчить про подальший розвиток контейнеризації вантажних перевезень та зростання ролі комбінованих транспортних технологій. Найбільше зростання спостерігається у сегменті зернових вантажів, жмихів та контейнеризованої аграрної продукції, що обумовлено активним розвитком сухих портів, прикордонних логістичних хабів та міжнародних інтермодальних маршрутів [14].

Таким чином, структура контейнерних перевезень демонструє посилення ролі аграрного сектору у формуванні контейнеропотоків України та підтверджує перспективність розвитку комбінованих перевезень у напрямку країн Європейського Союзу.



Рисунок 2.2.- Структура вантажів, що перевозяться у контейнерах залізничним транспортом АТ «Укрзалізниця» у 2024–2025 рр.

На рисунку 2.3 наведено динаміку обсягів вантажних перевезень залізничним транспортом України у 2021–2025 роках. Графік відображає зміну загальних обсягів перевезень вантажів, обсягів перевезень у зовнішньому сполученні, а також кількості вагонів, пропущених через митний кордон України [15].

У 2021 році обсяги вантажних перевезень були найбільшими за досліджуваний період і становили 314,3 млн т. При цьому обсяги перевезень у зовнішньому сполученні досягали 164,5 млн т, а кількість вагонів, пропущених через митний кордон України, становила близько 2,5 тис. вагонів на добу. Це свідчить про стабільне функціонування транспортної системи та значний рівень зовнішньоторговельних перевезень у довоєнний період.

У 2022 році спостерігалося різке скорочення вантажних перевезень, що було пов'язано з початком повномасштабних військових дій, руйнуванням транспортної інфраструктури, блокуванням морських портів та зміною логістичних маршрутів. Загальний обсяг перевезень скоротився до 150,6 млн т, а перевезення у зовнішньому сполученні — до 78,2 млн т. Одночасно кількість вагонів, які перетинали митний кордон України, зменшилася до 1,5 тис. вагонів на добу.

У 2023 році обсяги вантажних перевезень залишалися на рівні 148,4 млн т, що свідчить про стабілізацію роботи транспортної системи в умовах воєнного стану. Перевезення у зовнішньому сполученні становили 63,6 млн т, а кількість вагонів, пропущених через митний кордон, знизилася до 1,4 тис. вагонів на добу. Це пояснюється збереженням логістичних обмежень та складністю міжнародних перевезень.

У 2024 році відбулося часткове відновлення обсягів вантажної роботи залізничного транспорту. Загальний обсяг перевезень зріс до 174,9 млн т, а перевезення у зовнішньому сполученні — до 91,4 млн т. Основними чинниками зростання стали активізація експорту аграрної продукції, розвиток інтермодальних перевезень та збільшення обсягів перевезень через прикордонні переходи й сухі порти. Кількість вагонів, пропущених через митний кордон України, збільшилася до 1,7 тис. вагонів на добу.

У 2025 році спостерігалося незначне скорочення вантажних перевезень. Загальний обсяг перевезень становив 161,3 млн т, а перевезення у зовнішньому сполученні — 82,7 млн т. Кількість вагонів, які перетинали митний кордон України, знизилася до 1,6 тис. вагонів на добу. Незважаючи на це, залізничний транспорт

продовжує відігравати ключову роль у забезпеченні міжнародних комбінованих та інтермодальних перевезень.

Таким чином, аналіз динаміки вантажних перевезень свідчить про значний вплив воєнних та економічних факторів на роботу транспортної системи України. Водночас спостерігається поступова адаптація логістичної інфраструктури до нових умов функціонування, розвиток інтермодальних маршрутів та зростання ролі комбінованих перевезень у міжнародному сполученні.

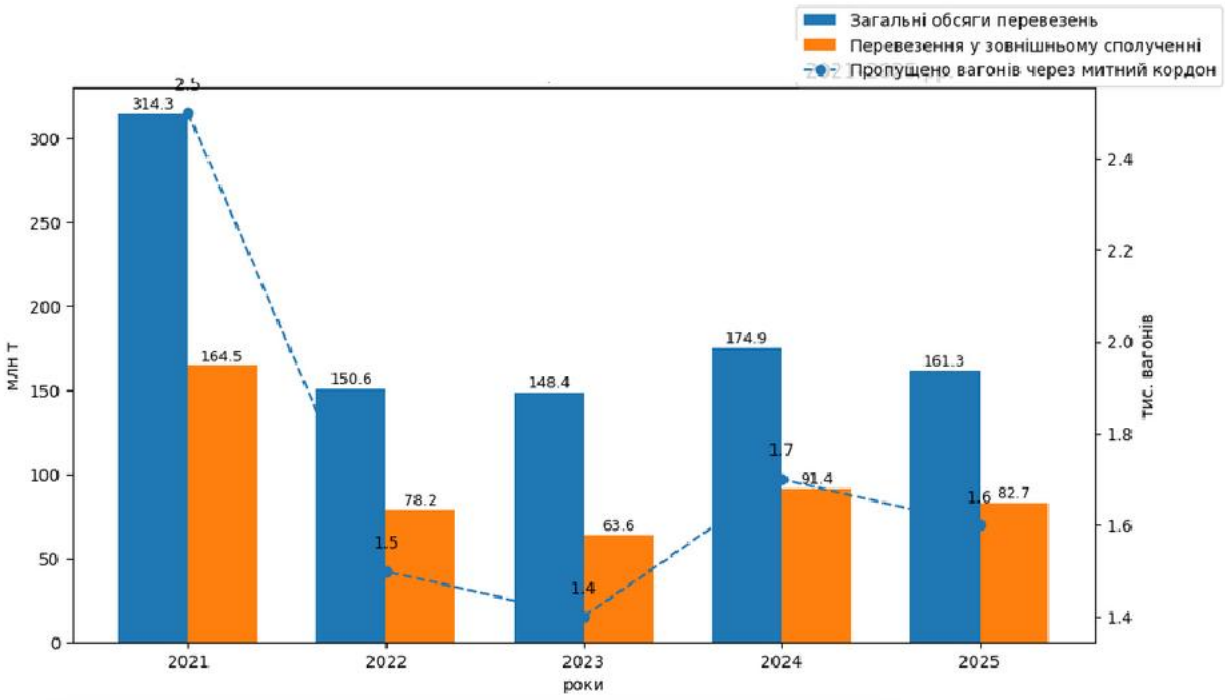


Рисунок 2.3. – Динаміка обсягів вантажних перевезень залізницею за 2021-2025 р.

Останніми роками в Україні спостерігається активний розвиток контейнерних та комбінованих перевезень, що пов’язано з переорієнтацією логістичних потоків на європейські транспортні коридори та необхідністю забезпечення стабільного експорту продукції в умовах воєнного стану. АТ «Укрзалізниця» продовжує розширювати мережу міжнародних інтермодальних маршрутів і впроваджувати нові логістичні сервіси для перевезення вантажів до країн Європейського Союзу [16].

Одним із найбільш перспективних напрямків розвитку комбінованих перевезень стала співпраця АТ «Укрзалізниця» з німецькою компанією Duisburger Hafen Aktiengesellschaft — оператором найбільшого внутрішнього річкового порту Європи та світу — порту Дуйсбург. У 2024 році було підписано меморандум щодо запуску регулярних контейнерних та контрейлерних поїздів між Україною та Німеччиною. Перший контейнерний поїзд за маршрутом термінал ЦТС «Ліски» – порт Дуйсбург був запланований до запуску вже у 2024 році [17].

Запровадження даного маршруту дозволяє реалізувати сучасний логістичний сервіс «door-to-door», що забезпечує доставку вантажів без додаткових перевантажень та тривалих затримок на кордоні. Важливою перевагою нового сервісу є можливість прогнозування строків доставки та вартості перевезень, що суттєво підвищує ефективність міжнародних комбінованих перевезень.

Порт Дуйсбург є одним із ключових інтермодальних логістичних хабів Європи, який об’єднує залізничний, автомобільний, річковий та морський транспорт. Наявність восьми контейнерних терміналів та розвиненої транспортної інфраструктури забезпечує можливість швидкого розподілу вантажопотоків до інших країн Європи, Близького Сходу та Африки.

Аналіз статистичних даних свідчить про те, що після різкого скорочення вантажних перевезень у 2022 році транспортна система України поступово адаптується до нових умов функціонування. Особливого значення в цих умовах набувають саме контейнерні та комбіновані перевезення, які забезпечують стабільність логістичних ланцюгів, зменшення часу доставки вантажів та підвищення ефективності міжнародної торгівлі [18].

Крім того, розвиток інтермодальних маршрутів сприяє інтеграції України до європейської транспортної системи TEN-T та створює передумови для подальшої цифровізації логістичних процесів. Використання сучасних інформаційних технологій, автоматизованих систем управління перевезеннями, електронного документообігу та GPS-моніторингу дозволяє підвищити ефективність управління контейнеропотоками та мінімізувати логістичні ризики.

Таким чином, розвиток міжнародних контейнерних та контрейлерних маршрутів є одним із ключових напрямків модернізації транспортно-логістичної системи України та забезпечення конкурентоспроможності комбінованих перевезень на європейському ринку транспортних послуг.

2.2 Дослідження обсягів контейнерних перевезень в країнах Європи

Останні тенденції статистичних даних контейнерних перевзень по країнах ЄС чітко ілюструють важливість та зростаючу роль інтермодальних перевезень у Європі. Основна увага приділяється зростанню частки унітизації в різних видах транспорту, іншими словами, частці вантажів, що перевозяться в контейнерах та інших інтермодальних транспортних одиницях (ІТО), таких як знімні кузови, причепи та напівпричепи. Також розглядається потенціал переорієнтації на інші види транспорту у сфері міжміських автомобільних перевезень контейнерів відповідно до стратегії переведення 30 % перевезень на відстані 300 кілометрів і більше з автомобільного транспорту на види транспорту з меншими викидами CO2. Ці показники аналізують частку таких міжміських перевезень у загальному обсязі автомобільних перевезень контейнерів [19].

На рисунку 2.5 наведено динаміку обсягів контейнерних перевезень різними видами транспорту в країнах Європейського Союзу у 2014–2024 роках. Графік демонструє зміну частки контейнерних перевезень залізничним, автомобільним, внутрішнім водним та морським транспортом короткого плеча (Short Sea Shipping) у загальній структурі вантажних перевезень. Аналіз графіка свідчить про поступове зростання ролі залізничного транспорту у системі контейнерних перевезень ЄС. Частка залізничних контейнерних перевезень зросла приблизно з 16–17 % у 2014 році до понад 22 % у 2024 році. Найбільш активне зростання спостерігається після 2019 року, що пояснюється реалізацією європейської транспортної політики щодо

перенесення вантажопотоків з автомобільного транспорту на більш екологічні види транспорту, зокрема залізничний та внутрішній водний транспорт [20].

Морські перевезення короткого плеча (Short Sea Shipping) протягом досліджуваного періоду залишаються одним із ключових елементів контейнерної логістики Європейського Союзу. Їх частка коливається в межах 16–20 %, демонструючи відносно стабільний рівень функціонування. У 2024 році спостерігається зростання показника до майже 20 %, що пов'язано з розвитком мультимодальних логістичних маршрутів та активізацією морської торгівлі між країнами ЄС.

Частка внутрішнього водного транспорту у контейнерних перевезеннях ЄС протягом усього періоду залишається відносно стабільною та становить близько 7–9 %. Незважаючи на незначні коливання, внутрішні водні перевезення продовжують відігравати важливу роль у функціонуванні інтермодальних транспортних коридорів, особливо в країнах Західної Європи, де активно використовуються річкові транспортні системи.

Автомобільний транспорт демонструє поступове скорочення частки у контейнерних перевезеннях — з приблизно 6,5 % у 2014 році до близько 5 % у 2024 році. Це пояснюється високими витратами на паливо, перевантаженням автомобільної інфраструктури, екологічними обмеженнями та переорієнтацією вантажопотоків на комбіновані перевезення.

Таким чином, аналіз графіка свідчить про те, що у країнах Європейського Союзу спостерігається стійка тенденція до розвитку залізничних контейнерних перевезень та комбінованого транспорту. Основними центрами формування контейнеропотоків залишаються Німеччина, Нідерланди, Бельгія та Польща, які мають найбільш розвинену транспортно-логістичну інфраструктуру та потужні інтермодальні термінали.

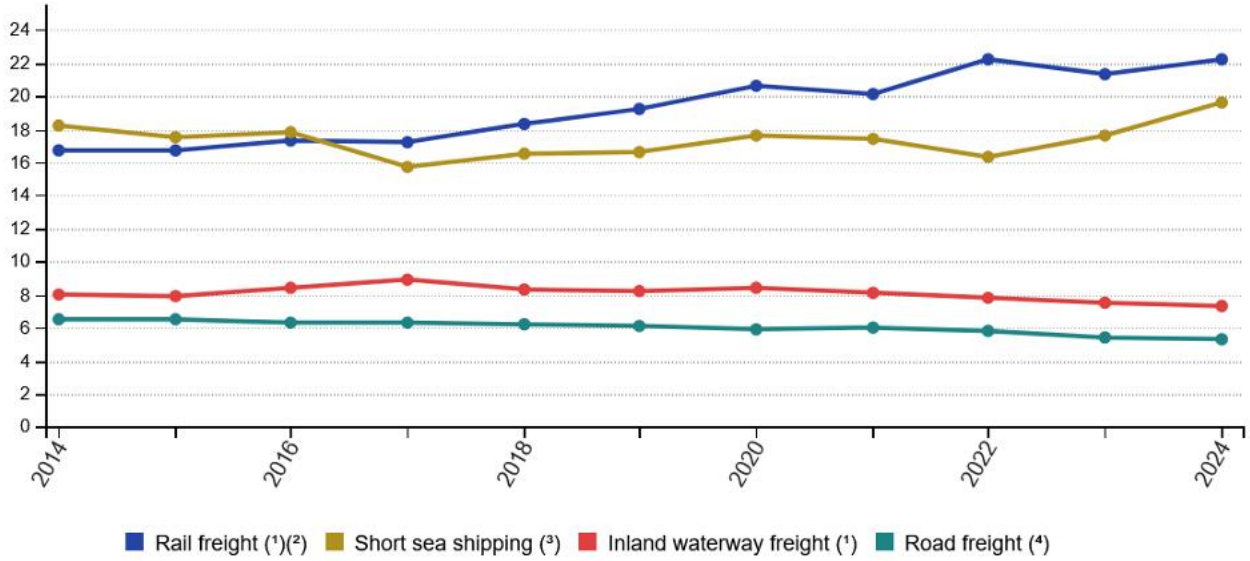


Рисунок 2.5- Динаміка обсягів контейнерних перевезень всіма видами транспорту у країнах ЄС за 2014-2025 р.р.

Загалом аналіз динаміки контейнерних перевезень у країнах ЄС свідчить про активний розвиток комбінованих та інтермодальних транспортних технологій, у яких ключову роль відіграють залізничний транспорт і мультимодальні логістичні системи. Основними тенденціями є цифровізація транспортних процесів, розвиток контейнерних терміналів, зростання ролі екологічно безпечних видів транспорту та інтеграція міжнародних транспортних коридорів у межах європейської транспортної мережі TEN-T.

3 Дослідження та оцінка технології обробки контейнерів у сучасних логістичних хабах

3.1 Огляд обробки контейнерів на контейнерних майданчиках логістичних хабів країн Європи

Порт Роттердам є одним із найбільш технологічно розвинених портів світу, відомим своєю інноваційною інфраструктурою та передовими технологіями обробки контейнерів. Основні аспекти технологій обробки контейнерів у порту Роттердам включають в себе автоматизовані контейнерні термінали порту Роттердам є зразком сучасних технологій у сфері обробки вантажів [3.1]. Вони включають комплекс обладнання та систем, спрямованих на підвищення ефективності, точності та швидкості обробки контейнерів. Основні елементи автоматизованих терміналів:

- крани автоматичного управління (STS - Ship-to-Shore Cranes). Великі крани для перевантаження контейнерів з/на судно, які мають функцію дистанційного керування або повністю працюють автоматично. Такі крани оснащені системами точного позиціонування для ефективного завантаження контейнерів на автономні транспортні засоби або складські майданчики.
- автономні транспортні засоби (AGV - Automated Guided Vehicles) до яких належать роботизовані машини для перевезення контейнерів між кранами та складськими зонами. Такі машини працюють без водіїв, керуються за допомогою систем навігації, інтегрованих у портову інфраструктуру. Використовують електричні або гібридні двигуни для зниження викидів CO_2.
- системи автоматизованого штабелювання: крани для штабелювання контейнерів (ASC - Automated Stacking Cranes): забезпечують автоматичне розміщення контейнерів у штабах у складських зонах, що оптимізує використання простору завдяки точному плануванню розміщення. Зони штабелювання забезпечені сенсорами та системами моніторингу.

- інтелектуальні системи моніторингу та управління. Логістичний хаб оснащений центральною системою управління (ЦСУ), яка об'єднує всі процеси в реальному часі: управляє рухом кранів, AGV і контейнерів; відстежує місце знаходження кожного контейнера та стан завантаження. Також платформа оснащена програмою для прогнозування заторів та оптимізації логістики. ЦСУ містить в собі функцію «Інтернет речей (IoT)». Суть цієї функції заключається в тому, що контейнери, обладнані датчиками для моніторингу стану вантажу (температура, вологість, герметичність тощо). Системи передають ці дані диспетчерським центрам для аналізу та контролю;

- роботизовані платформи перевірки вантажу містять в собі автоматичні сканери для перевірки контейнерів на відповідність митним нормам. За домогою таких сканерів можливо виконати огляд вантажу без необхідності його фізичного відкриття.

- енергозберігаючі технології, які заключаються у використанні кранів і AGV з електроприводом, що працюють на відновлення енергії.Інфраструктура терміналів підтримується сонячною та вітровою енергією.

- цифрова платформа управління логістикою Portbase- портова система обміну даними, яка об'єднує всі етапи процесу перевезення.



Рисунок 3.1 – Інфраструктура логістичного хабу Ротердам

Порт Антверпен-Брюгге є одним із найбільших контейнерних хабів Європи, відомим своєю сучасною технологією обробки контейнерів, яка забезпечує ефективність і швидкість. Основні аспекти технології обробки контейнерів у цьому порту полягають першочергово в автоматизації контейнерних терміналів на яких використовуються автоматизовані крани для завантаження/розвантаження; в інтеграції автономних транспортних засобів (АГВ) для перевезення контейнерів між кранами і зонами; порт оснащений роботизованими системами штабелювання контейнерів у складських зонах. Термінали порту дозволяють обробляти вантажі для подальшого транспортування різними видами транспорту. Автоматизовані крани та автономні транспортні засоби (AGV) забезпечують швидку передачу контейнерів між зонами зберігання і транспортними платформами.

Переваги інтегрованих інтермодальних технологій якими оснащений логістичний хаб:

- швидкість і ефективність: можливість оперативно передавати контейнери між різними видами транспорту.
- екологічність: зменшення викидів завдяки зниженню залежності від автомобільного транспорту.
- зниження витрат: оптимізація логістичних процесів через цифровізацію.
- глобальна доступність: можливість забезпечення доставки вантажів до будь-якої точки Європи.
- інтермодальні технології порту Антверпен-Брюгге роблять його ключовим логістичним вузлом Європи, що інтегрує морські, річкові, залізничні та автомобільні перевезення в єдиний ефективний ланцюг.

3.2 Технологія обробки контейнерів на контейнерних терміналах України

Спеціалізовані контейнерні термінали, які входять до складу логістичних хабів зазвичай розташовані поблизу великих морських або річкових портів. Відповідно до норм, для розміщення 150 двадцятифутових контейнерів необхідно щонайменше 0,4 га площі [18]. Сучасні стандарти вимагають оснащення терміналів необхідними засобами. Для обслуговування суден-контейнеровозів має бути облаштований причальний фронт, який включає один-три причали, із шириною фронту від 15 до 50 м. Контейнери переміщуються на спеціально організованих технологічних майданчиках, які , поділяються на зони. Обов'язко повинен бути підхід автомагістралей або залізничних колій для обслуговування контейнерів, які транспортуються тим чи іншим видом транспорту. Якщо є необхідність транспортування порожніх контейнерів, поблизу контейнерних терміналів розташовані склади комплектації, на яких саме і відбувається завантаження контейнерів вантажем або розвантаження. Для забезпечення допоміжних функцій таких як ремонт та технічне обслуговування контейнерів виділяються окремі зони, а також є приміщення для службового та побутового обслуговування.

На контейнерних терміналах контейнери розміщують штабелями відповідно до затверджених технологічних карт і схем, які розробляються для кожного конкретного термінала. Висота зберігання для можливості перевантаження відповідною технікою та згідно допустимого навантаження на майданчики складає не більше п'яти ярусів. Для порожніх контейнерів, які є легшими й більш вразливими до погодних умов, висота штабелювання обмежується двома ярусами. Основними засобами для переміщення контейнерів на контейнерних терміналах є річстакери та мобільні козлові крани, які забезпечують ефективне складування та переміщення контейнерів в межах складу.

Розміщення контейнерів на складах є ключовим аспектом ефективної роботи терміналів, а то і великих логістичних хабів. Адже від цього залежить кількість зайнятої площі складу, швидкість обробки вантажів, енергозатрати,

зручність для персоналу та інші параметри. Це питання має вирішуватися ще на стадії проектування терміналу.

При проектуванні схема розміщення контейнерів необхідно врахувати такі фактори:

- площу та рельєф місцевості;
- доступність робочих ліній;
- типи перевантажувальної техніки;
- потреби конкретного термінала.

Загалом існує шість типових схем розміщення контейнерів, які адаптуються під умови конкретного об'єкта, забезпечуючи оптимальну організацію роботи.

3.3 Дослідження часу обробки контейнеропотоків на контейнерному терміналі

Технологія обробки контейнерів на контейнерних терміналах або логістичних хабах, де формуються контейнерні або вантажні поїзди, впливає на рівень логістичних витрат, що в свою чергу є складовою вартості транспортування вантажів у контейнерах. Одним і з способів зменшення вартості такого виду перевезень є зменшення непродуктивних простоїв, зокрема і на контейнерних терміналах.Як відомо, найбільші логістичні хаби, такі як Ротердам, Валенсія і інші оснащенні програмним забезпеченням для прогнозування надходження контейнерів від вантажовідправників. Це дозволяє оптимально сформувати контейнерні або вантажні поїзди для подальшого транспортування з урахуванням черг на прикордонних станціях.

Для удосконалення технології обробки контейнерів на контейнерних терміналіх або логістичних хабах було проаналізовано причину виникнення непродуктивних простоїв контейнерів.

Однією з причин є простій контейнера в очікуванні під навантаження в контейнерний поїзд. Згідно технології формування та відправлення контейнерних поїздів, вони можуть відправлятись тричі на тиждень. Тому вантаж зберігається на контейнерних складах в очікуванні відправлення у контейнерному поїзді, що збільшує додаткові витрати.

Іншою причиною є простої вагонів та контейнерів, що виникають на прикордонних станціях в очікуванні відправлення, які наведені на рис.2, 3. Досліджено, що більша кількість вагонів, які простоюють в очікуванні обробки, на станціях Ужгород-Матевце -7,2 тис.ваг, Ізов-Хрубешув- 10,1 тис.ваг., Чоп (Чієрна над Тісоу)- 3,4 тис.ваг. [10]. Виявлено, що на прикордонних станціях України час перебування вагонів сягає 23 діб (рис.3.2), що в багато разів перевищує нормативні показники. За рахунок таких непродуктивних простоїв значно збільшується час просування вантажу залізничним транспортом, невиконання умов транспортування «точно в строк», що веде до додаткових експлуатаційних витрат.

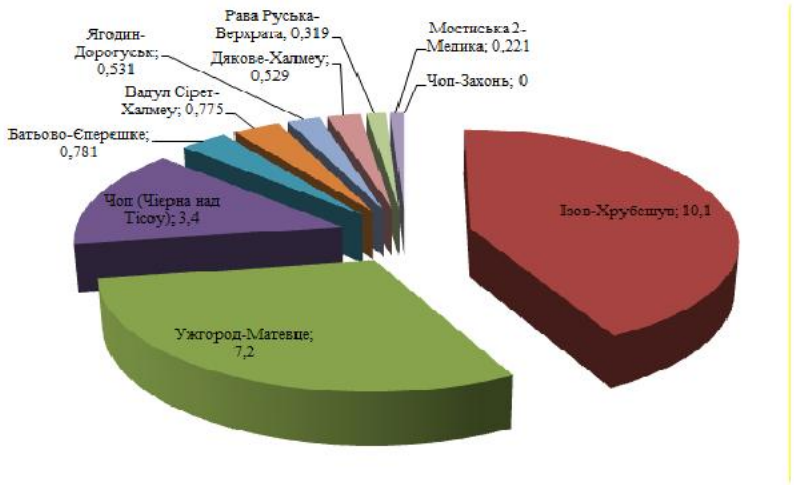


Рисунок 3.1 − Діаграма розподілу кількості вагонів в очікуванні на обробку на прикордонних станціях, тис.ваг.

На основі даних по надходженню контейнеропотоків на найбільші логістичні хаби Європи було побудовано графік процесу надходження контейнерів від вантажовідправників, який наведено на рис. 3.2. На осі X відображено часи

прибуття контейнерних партій за добу, на осі Y – кількість контейнерів, що прибувають. Аналізуючи графік, можна побачити, що контейнери можуть надходити до лоістичниги хабу одночасно один, два або три . При розробці прогнозної моделі надходження контейнеропотоківцей фактор обов'язково треба врахувати.

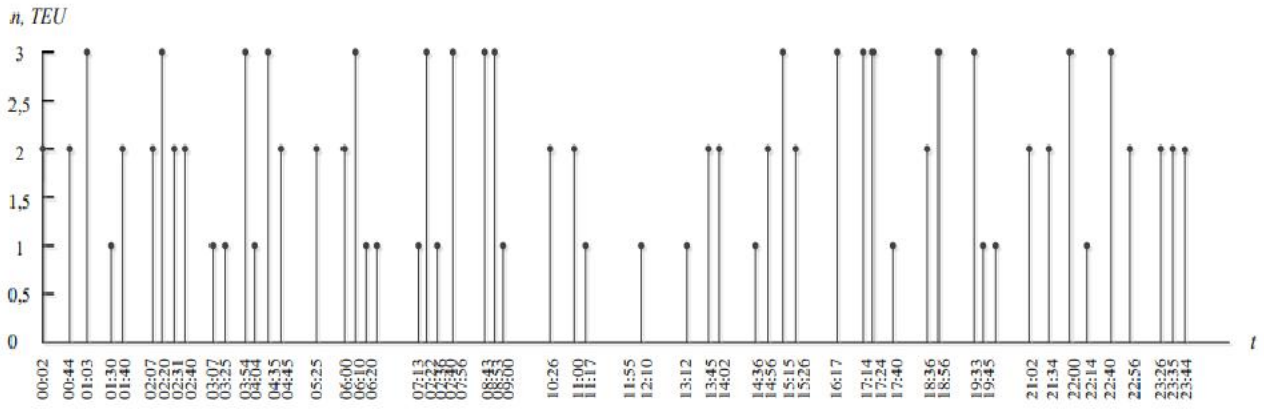


Рисунок 3.2 – Процес надходження контейнерів до логістичного хабу

На основі вищенаведених даних було проведено аналіз часового інтервалу між моментами надходження контейнерних партій до логістичного хабу за методом гістограми [9]. За даними про часи прибуття контейнерних партій (рис. 3.3) часова вісь була поділена на інтервали. У відповідності до частот потрапляння подій до кожного інтервалу була побудована гістограма (рис. 3.3). Результати розрахунків для побудови гістограми наведено в таблиці 3.1. На основі якої можна стверджувати про експоненційний закон розподілу часового інтервалу між моментами надходження контейнерних партій.

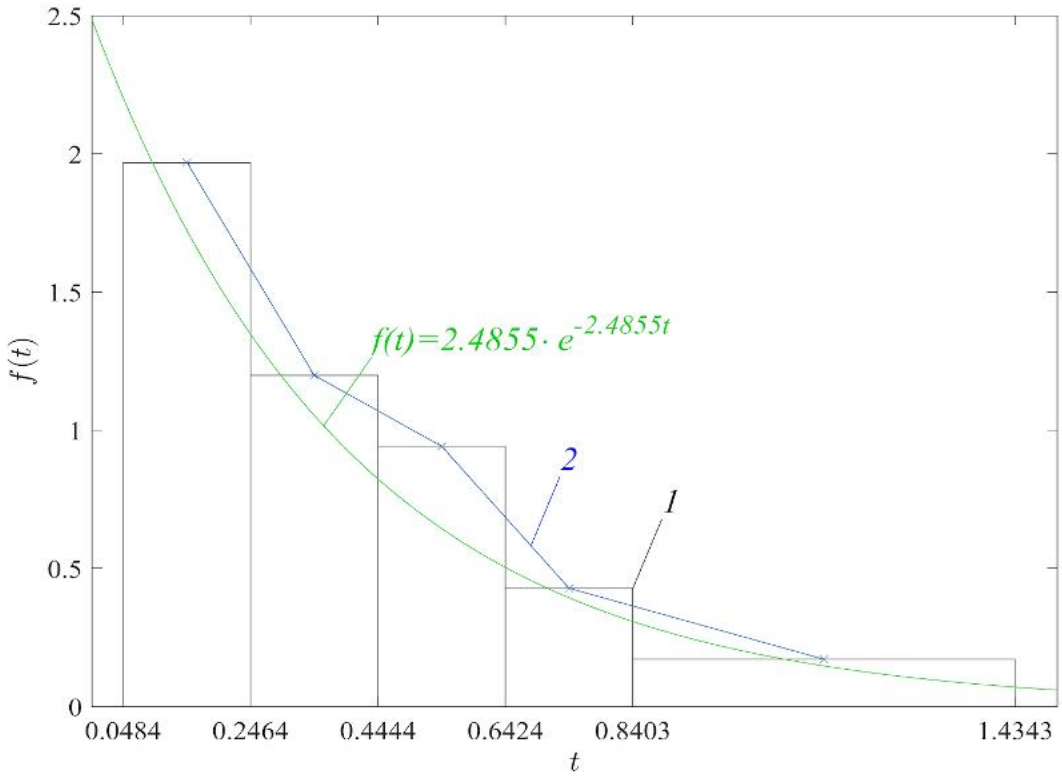


Рисунок 3.3– Гістограма (1), статистичний багатокутник (2) та крива функції щільності імовірності теоретичного закону розподілу (3) інтервалу між подіями потоку надходження контейнерних партій до термінальної залізничної станції

У таблиці 3.1 подано результати розрахунків, які використовувалися для побудови гістограми та теоретичної кривої щільності ймовірності відповідно до експоненційного закону розподілу. Також у таблиці наведено дані, отримані під час перевірки гіпотези за допомогою статистичного критерію узгодженості χ^2 Згідно з розрахунками, отримане значення критерію, яке становить 2,123, виявилося меншим за критичне значення 7,815, визначене відповідно до числа ступенів свободи та рівня статистичної значущості тесту. Таким чином, гіпотеза про відповідність часових інтервалів експоненційному закону розподілу підтверджена.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків в ході проведення статистичного дослідження за методом гістограми

№ інтервалу	ліва границя, год	права границя, год	емпіричні		теоретичні	
			частота	частість	частота	частість
1	0,0484	0,2464	23	20,3293	0,3898	0,4015
2	0,2464	0,4444	14	12,4285	0,2373	0,2454
3	0,4444	0,6424	11	7,5982	0,1864	0,1500
4	0,6424	0,8403	5	4,6452	0,0847	0,0917
5	0,8403	1,4343	6	5,6375	0,1017	0,1113
Σ			59	50,6387	1,0000	1,0000
$\chi^2 = 2{,}1230$		$\chi^2_{кр}(\alpha = 0{,}05) = 7{,}815$		$\chi^2 < \chi^2_{кр}$		

Дослідження показали, що потоки прибуття контейнерних партій до логістичних хабів лежать на різних часових інтервалах і не залежать один від одного, тому їх можна віднести до потоків без післядії, тобто пуассонівських. Слід зазначити, що ці потоки також не є ординарним, адже контейнери можуть прибувати групами, тобто на один момент часу може припадати декілька подій потоку. Для моделювання таких потоків доцільно застосувати поняття пуассонівського потоку групованих точок або кратного поняття пуассонівського потоку. Одночасне ж надходження декількох контейнерів відображається однією точкою на часовій вісі і за такою термінологією представляє одну подію, але ця подія є кратною і величина кратності події є її додатковою ознакою. За допомогою лічильного процесу (англ. counting process) визначимо процес зміни кількості контейнерів, що надходять до логістичного хабу. Лічильний процес – випадковий процес, що представляється лічильною функцією $N(t)$, яка є додатною, неубутною та цілочисельною [11]. На рисунку 2.5 наведене графічне представлення потоку надходження контейнерів до термінальної залізничної станції, який представлений на рисунку 2.3. у вигляді лічильної функції.

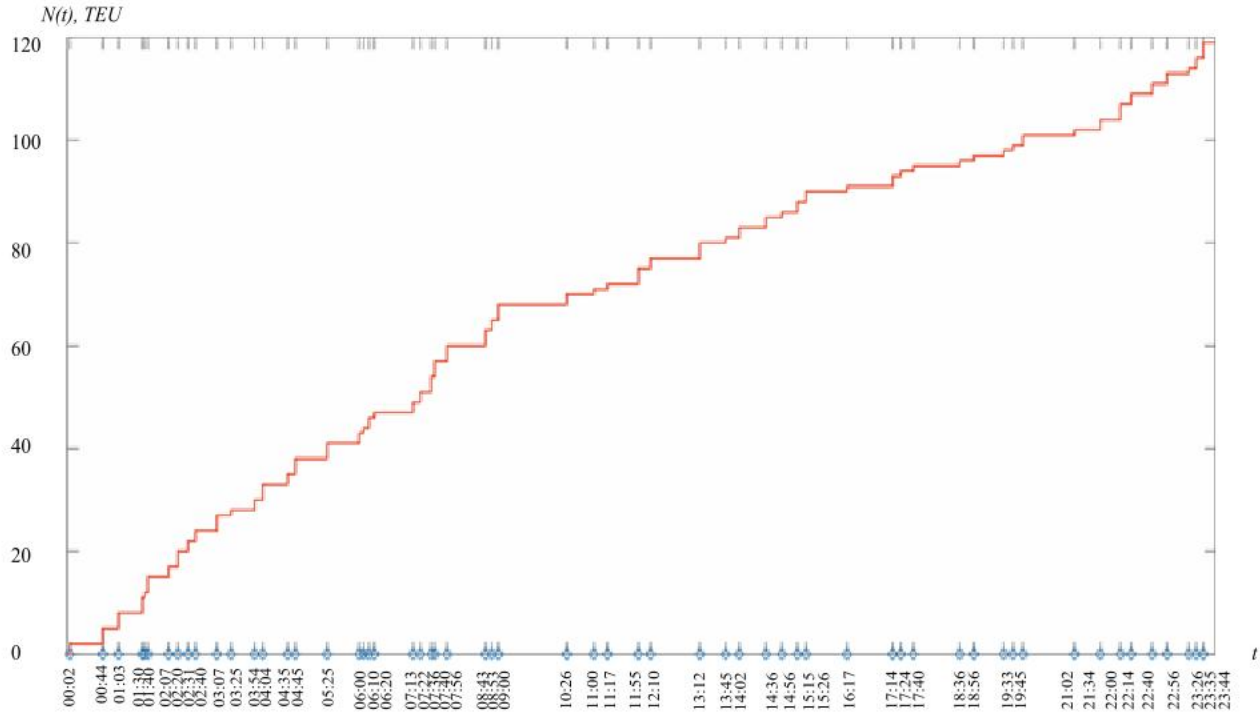


Рисунок 3.4– Лічильна функція процесу надходження контейнерів від вантажовідправників до термінальної залізничної станції

Також при розробці автоматизованої технології управління контейнеропотоками окрім дослідження надходження контейнеропотоків, слід врахувати місткість пункту обробки контейнерів

3.4 Аналіз вихідних даних та методів для прогнозування надходження контейнеропотоків

Для створення моделі управлінням руху контейнеропотоків на основі прогнозування надходження контейнерів від вантажовідправників, основною задачею є збір та обробка інформації. Опираючись на раніше розроблені дослідження науковців [12], таку модель управління можна віднести до задач стохастичного програмування. І для забезпечення можливості вироблення якісних управлінських рішень, використання лише статистичних даних процесів надходження контейнерів, таких як, наприклад, математичне очікування та дисперсія інтервалу між

надходженням контейнерів, є недостатнім. Тобто для забезпечення можливості прийняття рішень на майбутній плановий період необхідна наявність прогнозу інтенсивностей потоків надходження контейнерів до логістичних хабів. Здійснення прогнозу потребує наявності даних за певний період у минулому.

Основною характеристикою контейнеропотоків є функція інтенсивності. Але розглядаючи надходження контейнерів до логістичного хабу як нестаціонарні випадкові потоки, інтенсивність потоку може представляти собою часову залежність.

Виходячи з вищенаведеного представлення таких даних може бути у вигляді така званих часових рядів. Часові ряди – зібраний в певні моменти часу статистичний матеріал що містить значення одного чи декількох параметрів.Аналізуючи різні моделі прогнозування часових рядів, виявилося, що існує доволі значна їх кількість, які наведено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5.- Класифікація основних типів моделей для прогнозування часових рядів

Для прогнозування часових рядків з найефективніших сучасних нейронних структур розглядаються рекурентні нейронні мережі (RNN), зокрема модулі довготривалої короткострокової пам’яті (LSTM, англ. Long Short- Term Memory). LSTM використовується для завдань, де важливо втратити дані на тривалих інтервалах часу, таких як:

- фінансове прогнозування;
- аналіз кліматичних даних;
- обробка мовлення;
- системи прогнозування попиту.

Цей підхід дозволяє забезпечити точніше прогнозування завдяки здатності збереження та використання даних.[13].

Нейронні мережеві архітектури LSTM дійсно вважаються універсальними в контексті задач, які потребують обробки даних системи. Їх універсальність пов'язана з тим, що за достатньої кількості нейронів вони здатні апроксимувати будь-яку функцію з необхідною точністю, тобто відтворювати складні обчислювальні процеси. Ця здатність є наслідком їхньої архітектури, яка включає механізми пам’яті та контролю над нею через гейтинг-структури. Процес навчання таких мереж дозволяє сформувати матрицю вагових зв’язків між нейронами, яка виступає власною базою знань мережі. Цю базу можна інтерпретувати як модель обчислень, здатну вирішувати широкий спектр завдань. Після навчання нейронна мережа може використовуватися для прогнозування, розпізнавання та інших завдань

Нейронні мережеві архітектури LSTM є одними з найбільш адаптивних для реалізації технології глибинного навчання («deep learning»). Їх унікальні можливості дозволяють ефективно вирішувати задачі обробки, класифікації та прогнозування часових рядів, включаючи нерегулярні позиції без чітких параметрів або постійного інтервалу між подіями. Основні переваги LSTM для таких завдань:

1. Аналіз нерегулярних часових рядів: завдяки механізму пам’яті LSTM може отримувати віддалені ключові події, навіть якщо вони розташовані на аперіодичних відстанях.

2. Гнучкість у роботі з нерегулярними даними: LSTM може обробляти часові ряди з нерегулярними інтервалами або відсутністю сталої величини кроку, що робить їх універсальними для реальних даних, зокрема в економіці чи галузі транспорту. [14]

3 Зменшення проблеми затухання градієнтів: завдяки спеціальній архітектурі LSTM (зокрема, використанню механізмів гейтингу — input gate, forget gate та output gate), вони ефективніше зберігають і оновлюють інформацію, зменшуючи проблему затухання або вибуху градієнтів, яка виникає в стандартних RNN.

4. Можливість обробляти послідовності змінної довжини: LSTM підходять для роботи з послідовностями різної довжини без потреби в попередньому визначенні фіксованого розміру вхідних даних, що робить їх універсальними для задач природної мови, аудіо або відео.

5. Стійкість до шуму в даних: Завдяки механізмам забування (forget gate), LSTM можуть фільтрувати нерелевантну інформацію, що знижує вплив шуму в даних.

6. Підтримка як однобічної, так і двобічної обробки даних LSTM можна реалізовувати у вигляді однонапрямлених (unidirectional) або двонапрямлених (bidirectional) мереж, що дозволяє враховувати як попередній, так і наступний контекст у задачах, таких як машинний переклад чи розпізнавання мови.

7. Ефективність у моделюванні часових рядів: LSTM добре підходять для аналізу та прогнозування часових рядів завдяки здатності запам'ятовувати ключові залежності між моментами часу.

8. Гнучкість у застосуванні різних архітектур: їх можна інтегрувати в складніші моделі, такі як seq2seq, Transformer або навіть гібридні архітектури, поєднуючи їх з CNN чи MLP.

9. Підтримка контексту в реальному часі.

Прогнозування часових рядів за допомогою нейронних мереж вирішується шляхом застосування архітектур, здатних працювати з послідовними даними. Основна ідея полягає в тому, щоб навчити модель розуміти патерни та залежності у часових рядах, щоб передбачати майбутні значення.

Основні етапи вирішення задачі полягають в попередній обробці даних, в нормалізації або стандартизації даних для прискорення навчання. Далі відбувається перетворення ряду в вигляд "вікна": поділ даних на входи (вікна з історичних даних) та цільові значення (майбутні значення), розділення даних на тренувальний, валідаційний та тестовий набори. Найпопулярніші архітектури для прогнозування часових рядів: LSTM (Long Short-Term Memory).

Цей підхід широко використовується для фінансових прогнозів, управління запасами, прогнозування погоди, енергетики та інших завдань, де часові ряди відіграють ключову роль.

Навчання моделі LSTM для задачі, наприклад, прогнозування часових рядів, включає кілька ключових етапів: підготовку даних, налаштування архітектури, тренування і оцінку моделі. Нижче наведено покроковий процес:

- збір даних: зібрати історичні дані, наприклад, цінові ряди, температурні показники тощо;
- очистка даних: Видалити пропуски, викиди або заповнити їх (наприклад, середнім значенням);
- нормалізація/стандартизація: перетворити значення в діапазон [0, 1] або звести їх до стандартного розподілу:

from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler scaler =

MinMaxScaler(feature_range=(0, 1)) scaled_data = scaler.fit_transform(data)

- формування вікон: перетворити послідовні дані на набори "вхід-вихід". Наприклад: вхід: останні 10 значень (вікно); вихід: наступне значення:

def create_dataset(data, window_size):

X, y = [], []

for i in range(len(data) - window_size):

X.append(data[i:i + window_size])

```
        y.append(data[i + window_size])
    return np.array(X), np.array(y)
```

- побудова моделі передбачає: імпорт біліотек :

```
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import LSTM, Dense, Dropout
```

- налаштування архітектури, яке складається з додавання одного або кілька шарів LSTM, Використання Dropout для регуляризації і завершення Dense-шаром для прогнозування

Наступний етап –це навчання моделі, який заключається в розділенні даних на тренувальну та валідаційну вибірки та тренування

```
        model = Sequential([
            LSTM(50, return_sequences=True, input_shape=(X_train.shape[1],
    X_train.shape[2])),
    Dropout(0.2),
    LSTM(50, return_sequences=False),
    Dropout(0.2),
    Dense(1)  # Один вихідний прогноз
])
model.compile(optimizer='adam', loss='mean_squared_error')
from sklearn.model_selection import train_test_split
X_train, X_val, y_train, y_val = train_test_split(X, y, test_size=0.2,
random_state=42)
history = model.fit(
    X_train, y_train,
    validation_data=(X_val, y_val),
    epochs=50,
    batch_size=32,
    verbose=1
)
```

Далі відбувається оцінка моделі на основі обчислення метрик оцінки (наприклад, MSE, RMSE, MAE):

```
from sklearn.metrics import mean_squared_error
predictions = model.predict(X_val)
mse = mean_squared_error(y_val, predictions)
print(f"MSE: {mse}")
```

Візуалізація результатів описується наступним чином:

```
import matplotlib.pyplot as plt
plt.plot(y_val, label='Actual')
plt.plot(predictions, label='Predicted')
plt.legend()
plt.show()
```

Модель можна використовувати на нових даних або для багатоетапного прогнозування Використовувати навчену модель можна для передбачення майбутніх значень. Якщо потрібен багатоетапний прогноз (multi-step forecasting), можлива ітеративна або багатокрокова стратегія.

Переваги підходу заключаються в автоматичному виявленні патернів. Нейронні мережі можуть виявляти як лінійні, так і нелінійні залежності в даних. Гнучкість, завдяки тому, що нейноррі мережі можуть працювати з широким спектром даних, зокрема мультиваріативними часовими рядами. Масштабованість досягається за рахунок того, що мережі можуть адаптуватися до складності завдання.

До недоліків можна віднести потребу у великій кількості даних для ефективного навчання; високу обчислювальну складність, особливо для глибоких моделей та ризик перенавчання, якщо модель занадто складна для задачі.

Задача прогнозування часових рядів за допомогою нейронних мереж вирішується завдяки таким їх властивостям як можливість здійснювати узагальнення та знаходити приховані залежності [15]. Це ствердження выдноситься до моделей на основі мереж «глибинного навчання». Нейронні мережі напрямку «глибинного навчання» є значно складнішими за нейронні мережі традиційного

напрямку «машинного навчання». В процесі навчання їм непотрібно безпосередньо вказувати на певні ознаки даних, вони самі здатні їх виділяти. Фактично вони самі створюють функціональні структури, які здатні робити логічні висновки. Однак для цього вони можуть потребувати значно більших обсягів даних, обчислювальних потужностей та часу на навчання за мережі, що створені за технологіями машинного навчання.

Нейронна мережа архітектури LTSM є інструментом, який цілком доцільно застосовувати для прогнозування інтенсивності випадкових потоків, які представляють процеси надходження контейнерів на залізничні станції, які є термінальними пунктами в системах інтермодальних контейнерних перевезень. Як було показано вище, мережі даного типу можуть ефективно вирішувати задачі прогнозування часових рядів. Під часовими рядами маються на увазі послідовності даних, які є впорядкованими на часовій вісі. Таким чином, часові ряди – це послідовності даних з дискретним часом. Однак зазвичай мається на увазі також і те, що ці дані відповідають точкам на часовій вісі, які є рівно віддаленими одна від одної.

Мережі LSTM мають достатньо складний устрій. Головний компонент нейронних мереж довгої короткострокової пам'яті – не окремий нейрон або шар нейронів, а комірки пам'яті, які включають різні компоненти, до яких в тому числі входять і нейрони різних типів. Важливою складовою мережі архітектури LSTM є конвеєр основного потоку 1 (рис. 3.6.), який ще можна назвати конвеєром пам'яті. Він представляє собою комірку пам'яті, будь який елемент якої може бути видалений або змінений на будь якому ітераційному кроці навчання, або роботи мережі, а може зберігати своє значення протягом тривалого часу.

Одночасно з цим, цей конвеєр представляє собою один з двох каналів проходження сигналів, які транслюються від однієї комірки до іншої або від одного ітераційного кроку до іншого, відчуваючи мінімальний рівень взаємодії зі структурами комірки. Сигнал, який зберігає і передає даний конвеєр має назву «стан комірки» (англ. cell state). Саме він дозволяє мережі зберігати протягом

практично необмеженого періоду часу інформацію про попередні елементи числової послідовності даних та стани мережі.

Основними елементами комірки є шлюзи, які можуть забезпечити її здатність діяти у якості блоку пам'яті та виявляти довгострокові залежності в потоці даних.

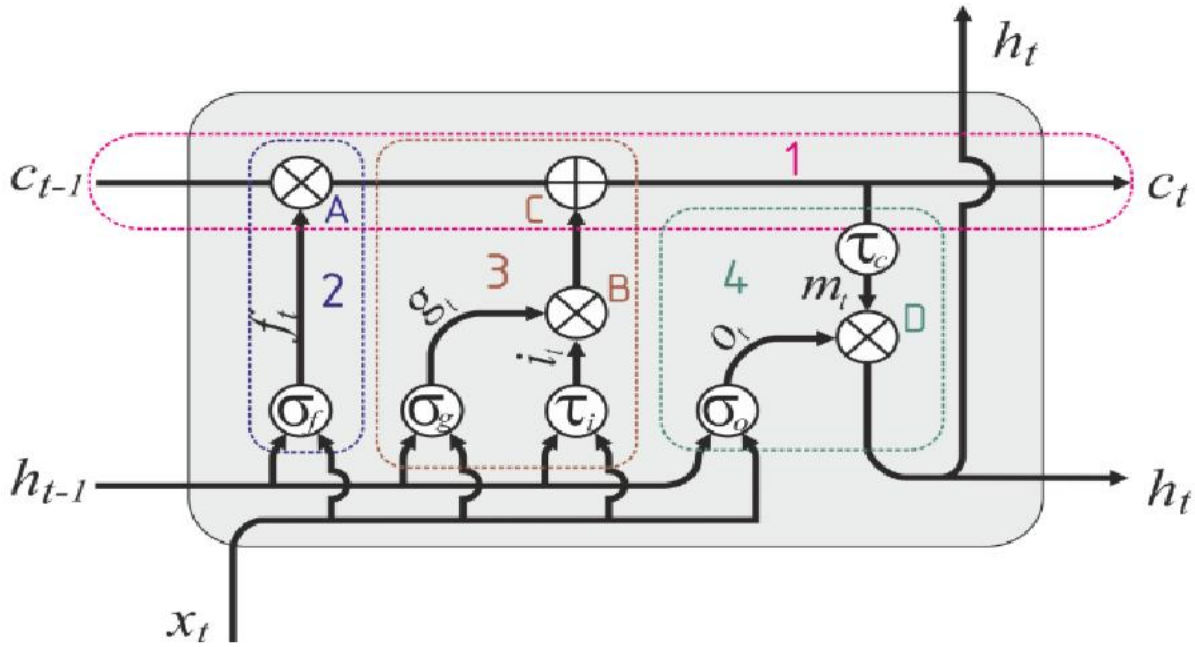


Рисунок 3.6 – Схема функціонування комірки нейронної мережі архітектури LSTM

Шлюзи є своєрідними самокерованими фільтрами, які приймають рішення щодо можливості та обсягів допуску інформації для її потрапляння на конвеєр пам’яті (англ. cell state) або канал основного сигналу, який називається прихованим (англ. hidden state). Прихованим цей сигнал називається тому, що крім того, що він передається між комірками, він зазвичай також транслюється до нейронів так званого «прихованого» шару мережі. Таким чином, даний сигнал є основним вихідним сигналом тієї частини загальної нейронної мережі, яка складається з LSTM комірок. Фактично цей сигнал також є сигналом, який передає інформацію про пам’ять мережі, але короткострокову.

Першим шлюзом на шляху просування сигналів «cell state» та «hidden state» є так званий «шлюз забування» (англ. forget gate), який позначений номером 2 на рис. 3.3. Окрім нейрона (позначений літерою f), який виконує роль вентиля, «шлюз забування» містить арифметичний елемент, який реалізовує операцію поелементного добутку. Нейрон, обробляє та агрегує сигнали, які отримує по двох своїх вхідних каналах. Перший вхід представляє собою елемент поточного вектора даних, який подається на вхід нейронної мережі. Другий вхід представляє собою поточне значення основного сигналу «hidden state». Таким чином, в залежності від цих двох входів нейрон шлюзу видає на виході вектор значень в діапазоні від 0 до 1. Ті елементи вектора, значення, яких є близькими до 0, за допомогою арифметичного елемента можуть нівелювати відповідні елементи поточного вектора конвеєра довгострокової пам'яті. Ця операція й асоціюється з процесом забуття.

Другим шлюзом є так званий «вхідний шлюз» (англ. input gate), який позначений номером 3 на рис. 3.4. Даний шлюз у своєму складі має два нейрони, один з яких є модулюючим, а другий – вентильний, та два арифметичних елемента. На входи модулюючого і вентильного нейронів надходять ті ж самі сигнали, що подавались на входи «шлюзу забуття». Модулюючий нейрон має функцію активації у вигляді гіперболічного тангенса, яка дозволяє йому агрегувати вхідні сигнали, модулюючи їх в діапазоні [-1,1]. Ці модульовані вектори представляють собою інформацію, яка потенційно може бути додана до інформації, яка зберігається у довгостроковій пам'яті комірки (cell state). Вентильний нейрон, обробляючи ті самі вхідні сигнали, вирішує наскільки є цінною та інформація, яку вони транслюють, з точки зору її довготермінового зберігання, генеруючи вектор ваг із значеннями у діапазоні [0,1]. Арифметичний елемент виконує операцію поелементного множення векторів, що були сгенеровані нейронами «вхідного шлюзу», далі цей модульований вхідний сигнал додається до довгострокової пам'яті комірки за допомогою арифметичного елементу, який виконує операцію поелементного додавання.

Третій шлюз позначений номером 4 на рис. 3.4., він називається «вихідним шлюзом». Цей шлюз також містить модулюючий та вентильний нейрони, а також арифметичний елемент. Вентильний нейрон, аналізуючи ті самі сигнали, що подавались на попередні шлюзи, формує вектор ваг, який поелементно відображає ступінь корисності інформації, яка зберігається у елементі довгострокової пам'яті, з точки зору можливості її транслювання по каналу короткострокової пам'яті та видачи на вихідний канал мережі. Скопійована з елементу довгострокової пам'яті інформація модулюється за допомогою модулюючого нейрону, який має функцію активації у вигляді гіперболічного тангенса. Далі ця інформація фільтрується арифметичним елементом за допомогою вектора ваг, що були сгенеровані вентильним нейроном, який виконує операцію поелементного добутку.

Шлюзи приймають участь у процесі навчання, в результаті якого їх параметри змінюються.

Під час навчання нейрони, що входять до складу шлюзів комірок, змінюють параметри функціонування за допомогою налаштування наступних векторів [13]

$$V = \begin{bmatrix} V_i \\ V_f \\ V_g \\ V_0 \end{bmatrix}, P = \begin{bmatrix} V_i \\ V_f \\ V_g \\ V_0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} B_i \\ B_f \\ B_g \\ B_o \end{bmatrix}, \tag{3.1}$$

де V та P – ваги вхідних та рекурентних зв'язків;

B – порогові значення функцій активації нейронів.

Вихідні сигнали вентильних та модулюючих нейронів (рис. 3.4.) можна представити наступними залежностями

$$
\begin{aligned}
i_t &= \tau_t(V_i x_t + P_i h_{t-1} + B_i) \\
f_t &= \sigma f(V_f x_t + P_f h_{t-1} + B_f) \\
g_t &= \sigma g(V_g x_t + P_g h_{t-1} + B_g) \\
o_t &= \sigma_t(V_o x_t + P_o h_{t-1} + B_o) \\
m_t &= \tau_c(c_t)
\end{aligned}
, \qquad (3.2)
$$

де x_t – вектор даних, що подається у момент часу t на вхід нейронної мережі;

h_{t-1} – поточне значення основного сигналу «hidden state» на ітераційному кроці, що передує моменту часу t;

c_t – поточне значення основного сигналу «cell state» на ітераційному кроці, що відповідає моменту часу t;

$\sigma_f, \sigma_g, \sigma_o$ – функції активації вентильних нейронів шлюзу забування, вхідного та вихідного шлюзів відповідно, які базуються на сигмоїдальній логістичній функції;

τ_i, τ_c – функції активації модулюючих нейронів вхідного та вихідного шлюзів, які базуються на функції гіперболічного тангенсу.

4 Проведення моделювання та отримання прогнозних даних надходження контейнерів до логістичних хабів

4.1 Формування моделі прогнозу інтенсивності потоку на базі рекурентної нейронної мережі

Для прогнозування інтенсивності потоку контейнерів у середовищі Matlab була створена модель прогнозу на базі рекурентної нейронної мережі. Архітектура цієї моделі вказана на рисунку 4.1.

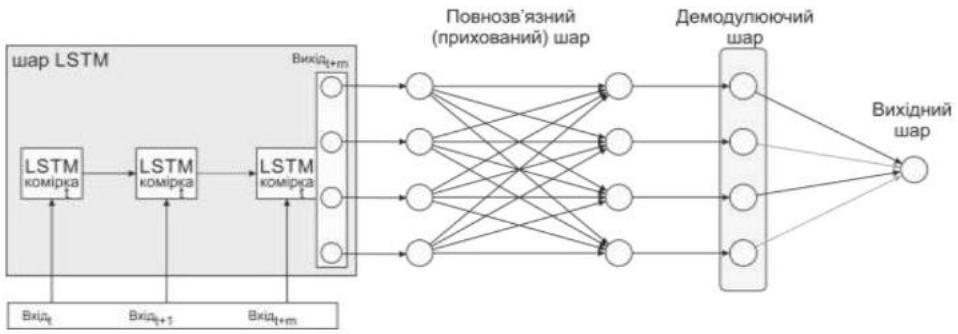


Рисунок 4.1– Архітектура моделі на основі рекурентної нейронної мережі для здійснення прогнозу інтенсивності потоку надходження контейнерів

Мережа LSTM містить 40 комірок у шарі довгої короткочасної пам'яті (LSTM), 80 нейронів у повнозв'язаному шарі та 20 нейронів у декодуючому шарі.

На рисунку 4.2 зображена динаміка швидкості навчання побудованої нейронної мережі. Параметр навчання налаштований так, що протягом процесу навчання цей параметр змінюється до рівня 0,0005, що відповідає високому рівню точності моделі. Однак таке значення параметра істотно уповільнює процес навчання.

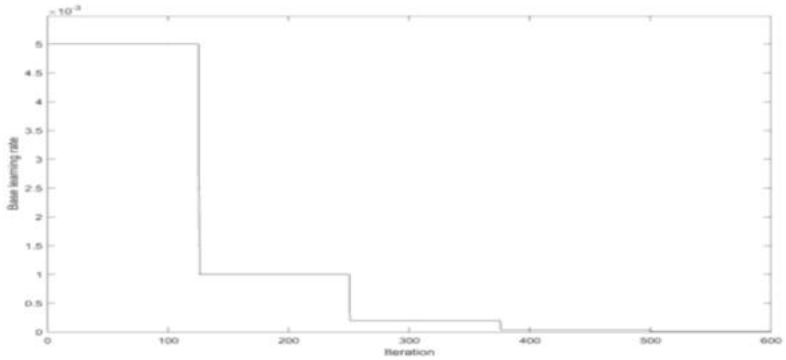


Рисунок 4.2 - Динаміка швидкості навчання побудованої нейронної мережі

На рисунку 4.3 наведена динаміка середньоквадратичної похибки навчання (англ. root mean square error, RMSE)

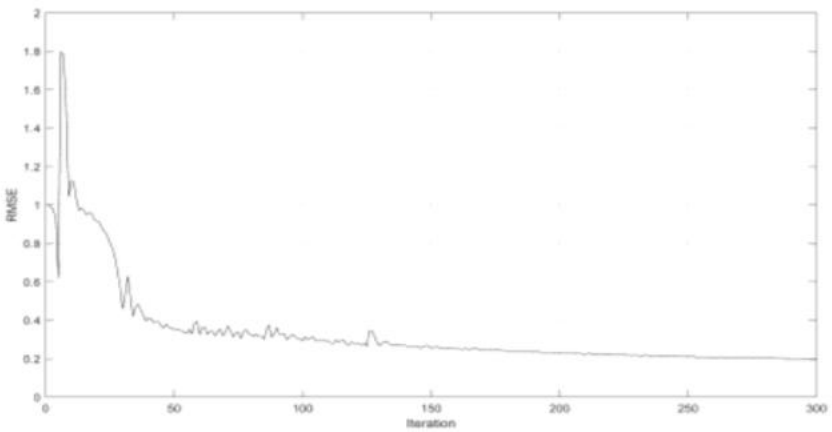


Рисунок 4.3 – Динаміка середньоквадратичної похибки навчання мережі

На основі даних надходження контейнерів на термінальну станцію Сінгапуру за 2016 рік було виконано навчання нейронної мережі. На рисунку 4.4 наведено фрагмент цієї послідовності, який відображає фактичну інтенсивність прибуття контейнерів, порівняно з результатом прогнозу, отриманим за допомогою побудованої нейронної мережі.

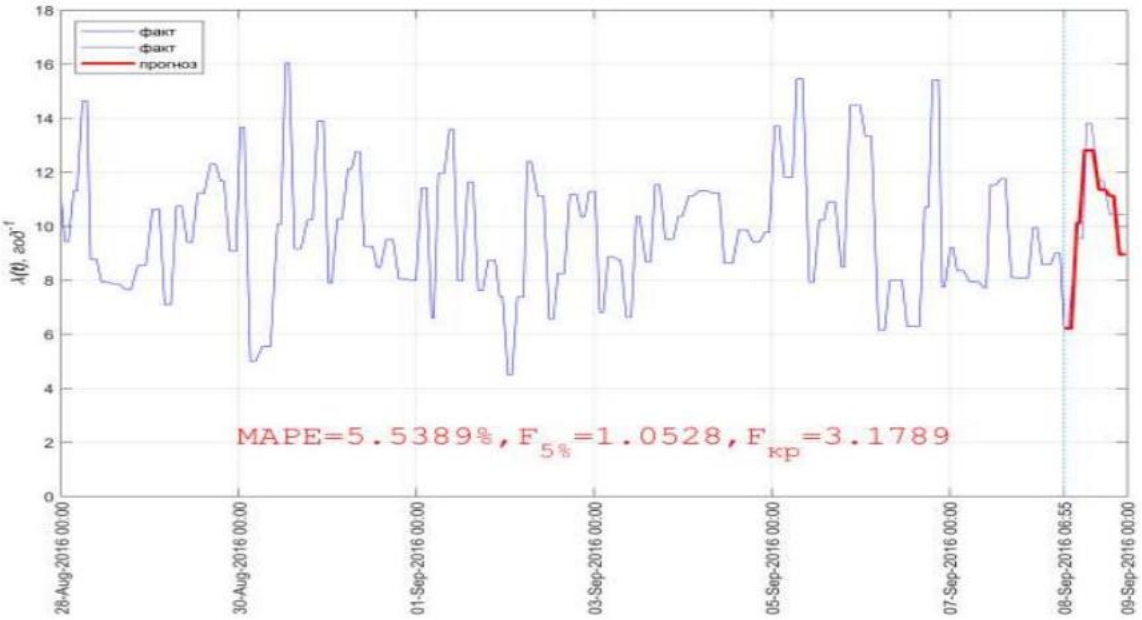


Рисунок 4.4 - Фактична і прогнозна інтенсивності потоку надходження контейнерів до логістичного хабу

Для більш детального порівняння на рисунку 4.4 наведена фактична і прогнозна інтенсивності потоку на часовому інтервалі, що відповідає горизонту планування. Запропонований вище метод відтворення функції інтенсивності, що використовувався для кодування та інтерпретації даних фактичної інтенсивності та прогнозних залежностей, є зручним для кодування параметрів розріджених потоків та пошуку залежностей подій, розташованих у часі. Однак такий підхід не дає можливості безпосередньо порівняти дані часового ряду з конкретними рівномірно розподіленими точками на часовій осі. З іншого боку, для вирішення завдань управління процесом накопичення контейнерів першочерговим стає не сам вигляд функції інтенсивності потоку, а її інтегральна функція. У цьому контексті порівняння елементів площин під графіками прогнозованої та фактичної інтенсивностей, які відповідають однаковим проміжкам на часовій осі, буде більш точними.

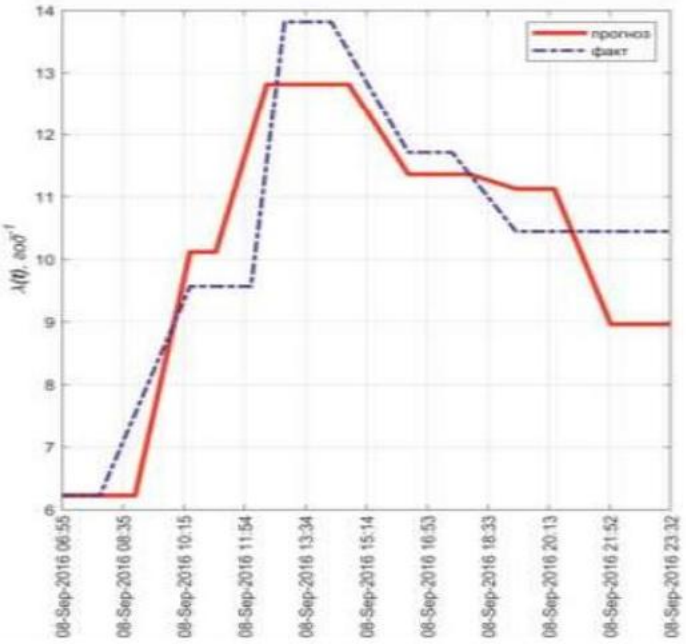


Рисунок 4.5 – Фактична і прогнозна інтенсивності потоку надходження контейнерів до термінальної станції на часовому інтервалі, що відповідає горизонту планування

Для детального порівняння на рисунку 4.6. наведена фактична і прогнозна інтенсивності потоку на часовому інтервалі, що відповідає горизонту планування.

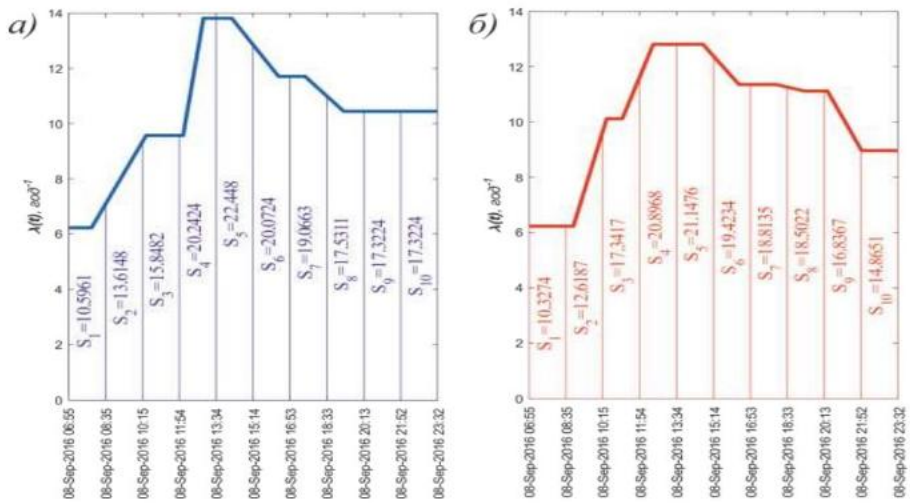


Рисунок 4.6 – Графіки фактичної - а) і прогнозної - б) інтенсивності потоку із зазначеними величинами площин, які відповідають кількості подій потоку за рівні інтервали часу

Графіки фактичної та прогнозованої інтенсивностей із зазначеними значеннями площин сегментів представлені на рисунках 4.7.а і 4.7.б відповідно.

Ці дані також узагальнені у таблиці 4.2, де подані результати розрахунку середньої абсолютної відсоткової похибки (MAPE). Важливо відзначити, що саме цей метод оцінки, що базується на аналізі сегментів площин, усуває обмеження застосування MAPE, пов'язане із неможливістю використання його у випадку наявності нульових значень у ряді даних. За результатами розрахунків, цей показник не перевищує 6%.

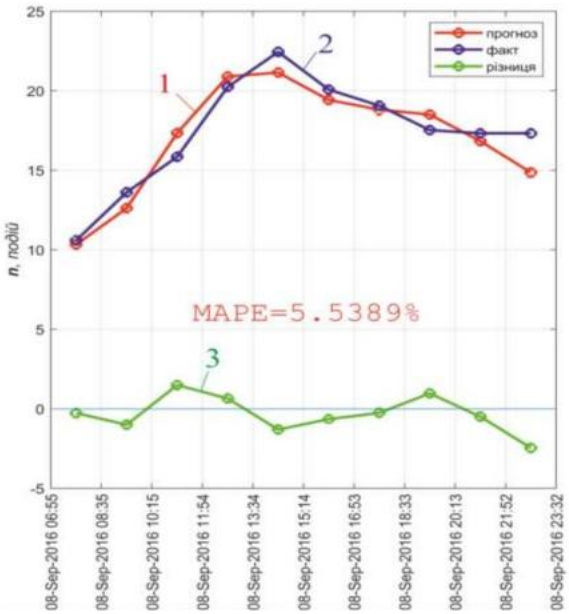


Рисунок 4.7 - Чисельність подій, які припадають на рівні часові інтервали, яка відповідає функції отриманої прогнозної інтенсивності (1); фактичної інтенсивності (2); та різниця між ними (3)

Ураховуючи той факт, що характер прогнозної залежності якісно відповідає залежності, що відповідає фактичним даним, можна констатувати високий рівень точності розробленої прогнозної моделі. Також в таблиці представлені дисперсії відповідних вибірок даних, які використовуються для розрахунку критерію Фішера.

Таблиця 4.2– Чисельність подій згідно прогнозу та фактичні, різниця між ними та результати розрахунків показників

№ інтервалу	Кількість подій згідно прогнозу	Кількість подій фактично	Абсолютна різниця	Відносна різниця, %
1	10,3274	10,5961	-0,2687	-2,5357
2	12,6187	13,6148	-0,9961	-7,31606
3	17,3417	15,8482	1,4963	9,423484
4	20,8968	20,2424	0,6544	3,23257
5	21,1476	22,4480	-1,3004	-5,79306
6	19,4234	20,0724	-0,6490	-3,23342
7	18,8135	19,0663	-0,2529	-1,32626
8	18,5022	17,5311	0,9711	5,539139
9	16,8367	17,3224	-0,4857	-2,80399
10	14,8651	17,3224	-2,4573	-14,1855
σ^2	12,4629	11,8376	1,33701	45,4063
$F_{5\%}$	1,0528			
$F_{кр}$	3,1789			
MAPE	5,5389 %			

Значення критерію Фішера, подане в таблиці, не перевищує критичного значення для заданих ступенів свободи, що свідчить про адекватність розробленої прогнозної моделі. Таким чином, результати розрахунків підтверджують високий рівень точності розробленої прогнозної моделі.

4.2 Обробка вихідних даних оптимізаційної моделі та моделювання параметрів потоків надходження контейнерів

Вихідними даними є прогнозні функції інтенсивностей для окремих компонентів потоку, які виникають в результаті загального потоку контейнерів до логістичних хабів протягом 24 годин. Дані функції інтенсивності, викладені у вигляді, наведеному рис 4.8.

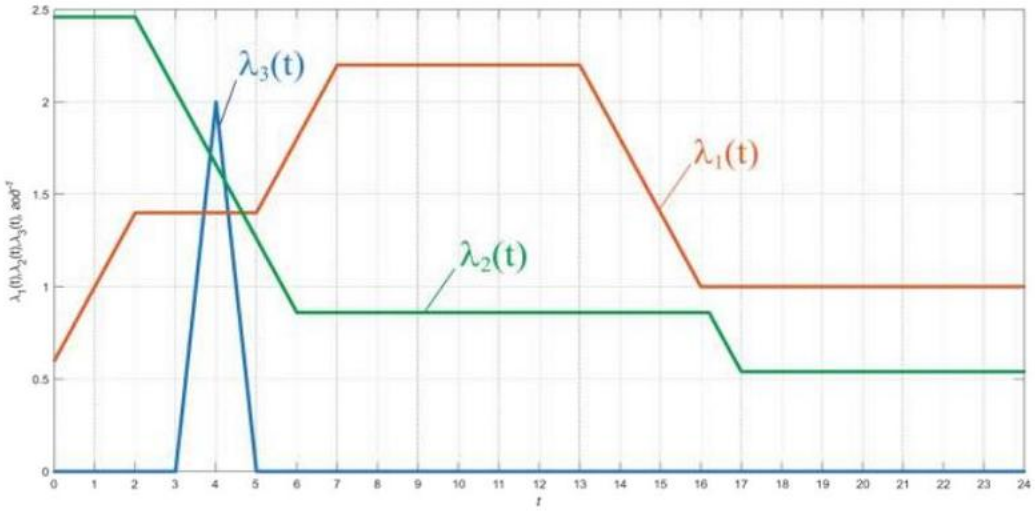


Рисунок 4.8 – Функції інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із кратностями від 1 до 3

Дані функції представлені ломаними лініями. Для аналітичного представлення подібних залежностей зазвичай застосовують параметричний спосіб представлення функцій. Однак при такій формі запису виникають значні незручності як при визначенні залежностей автоматизованим способом, тобто в ході виконання програми, так і при визначені та обчисленні інтегралів від них, що є критично важливим при вирішенні оптимізаційної задачі. З цією метою була застосована компактна форма запису за допомогою використання функції модулю. Таким чином даний прийом дозволяє уникнути параметричної форми представлення функцій, необхідності інтегрування по частинах, а також отримання кумулятивних функцій інтенсивності в аналітичному вигляді, що є вкрай важливим. Отримані функції інтенсивності є інтегрованими на всій області визначення. Отже такий підхід дозволяє отримати представлення функцій інтенсивностей та кумулятивні функції інтенсивностей у компактному вигляді, але в першу чергу надає можливість автоматизувати та уніфікувати процес їх обчислення.

Аналітичний вигляд функцій інтенсивностей та кумулятивних функцій інтенсивностей складових потоків, що наведені на рис. 4.8., представлені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Функції інтенсивностей та кумулятивних інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із крайностями від 1 до 3 в аналітичному вигляді

кратність потоку	функція інтенсивності потоку	кумулятивна функція інтенсивності потоку
1	$\lambda_1(t) = 0,2\big(x - \lvert x-2\rvert + \lvert x-5\rvert - \lvert x-7\rvert - \lvert x-13\rvert + \lvert x-16\rvert\big) + 0,8$	$\Lambda_1(t) = 0,1\Big(x^2 + 8x - \lvert x-2\rvert(x-2) + \lvert x-5\rvert(x-5) - \lvert x-7\rvert(x-7) - \lvert x-13\rvert(x-13) + \lvert x-16\rvert(x-16)\Big) + 5,9$
2	$\lambda_2(t) = 0,2\big(-\lvert x-2\rvert + \lvert x-6\rvert - \lvert x-16,2\rvert + \lvert x-17\rvert\big) + 1,5$	$\Lambda_2(t) = 0,1\big(-\lvert x-2\rvert(x-2) + \lvert x-6\rvert(x-6) - \lvert x-16,2\rvert(x-16,2) + \lvert x-17\rvert(x-17) + 15x\big) + 5,856$
3	$\lambda_3(t) = \lvert x-3\rvert - 2\lvert x-4\rvert + \lvert x-5\rvert$	$\Lambda_3(t) = 0,5\big(\lvert x-3\rvert(x-3) + \lvert x-5\rvert(x-5)\big) - \lvert x-4\rvert(x-4) + 1$

Графічне представлення кумулятивних функцій інтенсивності складових потоків, побудованих на основі отриманих аналітичних залежностей, що наведені в таблиці 4.3 свідчить про їх коректність, рис.4.9

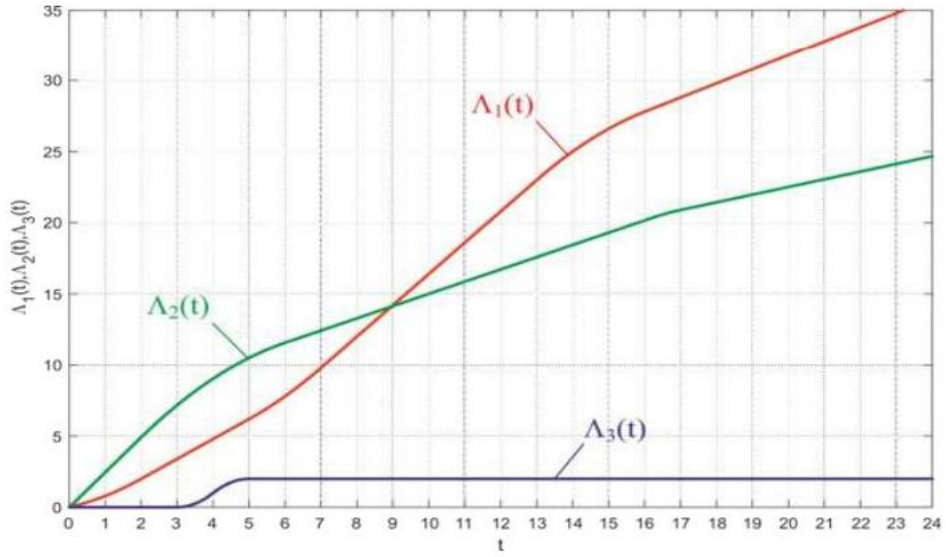


Рисунок 4.9. - Кумулятивні функції інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із кратностями від 1 до 3

При вивченні неординарних потоків важливо розглядати можливість, що кількість компонентів потоків може бути будь-якою великою кількістю, навіть нескінченною. Отримані формули залишаються дійсними для будь-якої кількості складових потоків, але в розглянутій задачі максимальна кількість компонентів потоку обмежена трьома. Враховуючи це, формулу можна спростити для більшої зрозумілості і наочності. Таким чином, за умови, що потік контейнерів представлений як суперпозиція потоків з максимальною кількістю 3, формула може мати наступний вигляд

$$p\left(N\left(\left[t_0,\tau\right]\right)\geq n\right)=1-\exp\left(-\int_{t_0}^{\tau}\lambda_{\Sigma}\left(t\right)dt\right)\sum_{i=1}^{x(s,k)}\prod_{\substack{j=1,\\ \Sigma jq_{ij}<k,q_{ij}\in\mathbb{N}}}^{s}\sum_{r=0}^{k_j-1}\frac{\left(k_j\int_{t_0}^{\tau}\lambda_j\left(t\right)dt\right)^{k_j\left(\left(k_j-1\right)q_{ij}+1+r\right)}}{\left(\left(k_j-1\right)q_{ij}+1+r\right)!}, \tag{4.1}$$

де k – кількість контейнерів, які прибудуть на станцію;

$[t_0,\tau]$– моменти початку та завершення планового періоду відповідно;

$\lambda_j(t)$ – інтенсивність потоку контейнерів кратності j , як функція від часу;

q_{ij} – кількість подій потоку кратності j на часовому інтервалі $[t_0,\tau]$ у і-му варіанті реалізації розвитку подій;

s – максимальна кратність потоку, яка розглядається на даному терміналі;

$x(s,k)$ – потужність множини імовірнісних випадків розвитку подій при даних значеннях змінних s s та k , коли під випадком розуміється одна з можливих реалізацій потоку, що характеризується множиною $q_{i1},q_{i2},q_{i3}...q_{1j}$; потоку, яка розглядається на даному терміналі;

$\int_{t_0}^{\tau}\lambda_{\Sigma}\left(t\right)dt=\lambda(t)$– «ведуча функція потоку» [17,18], тобто кумулятивна сумарна інтенсивність потоків всіх кратностей як функція від часу.

Даний запис надає більш наочне уявлення про комбінаторний характер процесу обчислення даної формули. Таким чином, ітератор другої суми і перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 2, які відповідають умові

неперевищення кількості контейнерів k . Ітератор третьої суми j перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 3, які відповідають умові неперевищення кількості контейнерів k з урахуванням кількості подій і потоку кратності 2. Величина k -2i- 3j представляє кількість подій потоку кратності 1 за тієї ж умови, та обчислюється за залишковим принципом.

На рисунку 4.10 наведена залежність імовірності накопичення щонайменше n контейнерів від кількості контейнерів та тривалості часового інтервалу

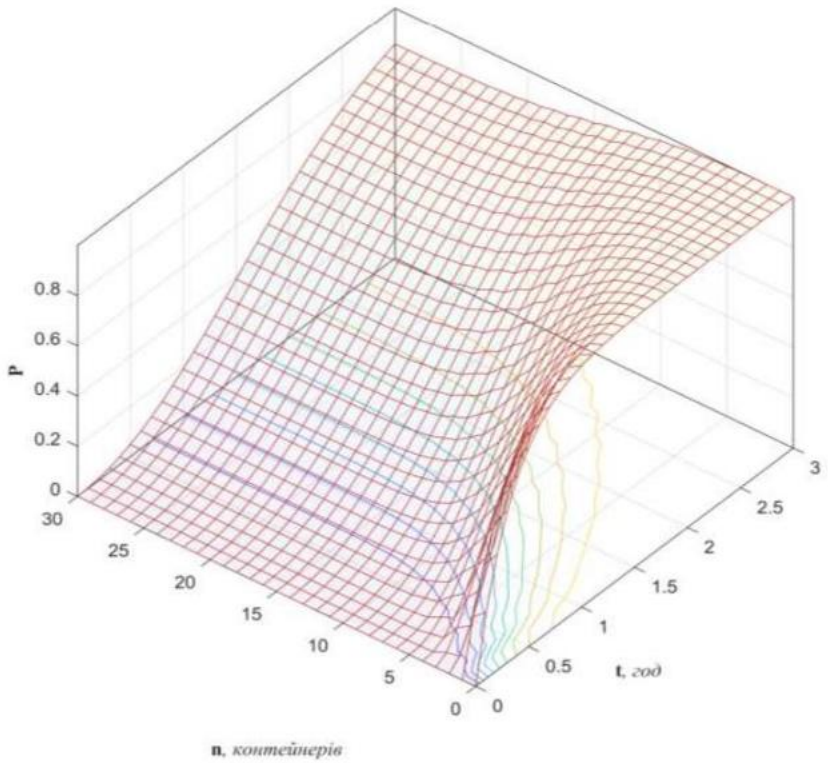


Рисунок 4.10 – Залежність імовірності накопичення щонайменше n контейнерів від кількості контейнерів та тривалості часового інтервалу

Отримані залежності можна використати в ході вирішення задач оперативного планування процесу транспортування контейнерів залізницею до прикордонних станцій або до морських портів в рамках системи інтермодальних перевезень, яка включає дві термінальні залізничні станції, що працюють у синхронному режимі.

5 Удосконалення структури інформаційно-керуючої системи перевізного процесу за рахунок використання моделі прогнозування надходження контейнеропотоків

5.1 Аналіз розвитку автоматизованих систем управління вантажними перевезеннями на залізничному транспорті

АСК ВП УЗ-Є (Автоматизована система керування вантажними перевезеннями "Єдина") — це інформаційна система, створена для оптимізації управління вантажними перевезеннями на залізничному транспорті України. Її основна мета — автоматизація процесів планування, організації та контролю за перевезеннями вантажів на всіх етапах: від замовлення послуги до доставки вантажу кінцевому одержувачу. Зародження ідеї автоматизації ще в 1970 роки і тривали до 1980 року. У зв'язку зі зростанням обсягів вантажних перевезень у СРСР виникла необхідність автоматизації процесів управління перевезеннями. Було розроблено перші інформаційні системи, які дозволяли автоматизувати окремі аспекти роботи залізниці. З 1991 по 2000-ті роки відбувалось формування АСК ВП УЗ-Є в незалежній Україні. Після здобуття незалежності Україна почала створювати власну автоматизовану систему керування. Основна увага приділялася інтеграції різних ділянок залізничної інфраструктури в єдину систему, з урахуванням специфіки вантажоперевезень. У цей період була реалізована базова версія АСК ВП УЗ-Є. З 2000 року по 2010-ті роки відбувався розвиток і вдосконалення системи. З розвитком інформаційних технологій система була значно модернізована. Інтеграція електронного документообігу, що зменшило використання паперових носіїв. Впроваджено функціонал для моніторингу вантажопотоків у реальному часі.

З 2010-ті – сьогодення відбувається цифрова трансформація. АСК ВП УЗ-Є стала частиною цифрової стратегії "Укрзалізниці". Система отримала оновлення, що дозволяє впроваджувати сучасні інструменти, такі як Big Data, машинне

навчання та прогнозування. З'явився доступ до функціоналу через веб-інтерфейси та мобільні додатки для клієнтів. Функціонал АСК ВП УЗ-Є полягає у плануванні перевезень: прийом і обробка заявок від клієнтів, формування графіків руху вагонів і складів. Управління перевезеннями: моніторинг руху вантажів розподіл вагонів і ресурсів залежно від потреб. Контроль і облік: відстеження стану вантажів і контейнерів у реальному часі; формування звітності для замовників та внутрішнього використання. Електронний документообіг: обробка товарно-транспортних документів в електронній формі; інтеграція із зовнішніми системами, такими як митниця чи порти.

Ефективність: АСК ВП УЗ-Є полягає в автоматизації управління складними процесами перевезення вантажів. Клієнти отримують доступ до інформації про рух своїх вантажів у режимі реального часу. Оптимізація ресурсів залізничного транспорту допомагає знизити експлуатаційні витрати. Система активно оновлюється, інтегруючи сучасні технології для поліпшення роботи залізничного транспорту. АСК ВП УЗ-Є є основою для розвитку цифрових технологій у сфері залізничного транспорту України, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності та ефективності логістики.

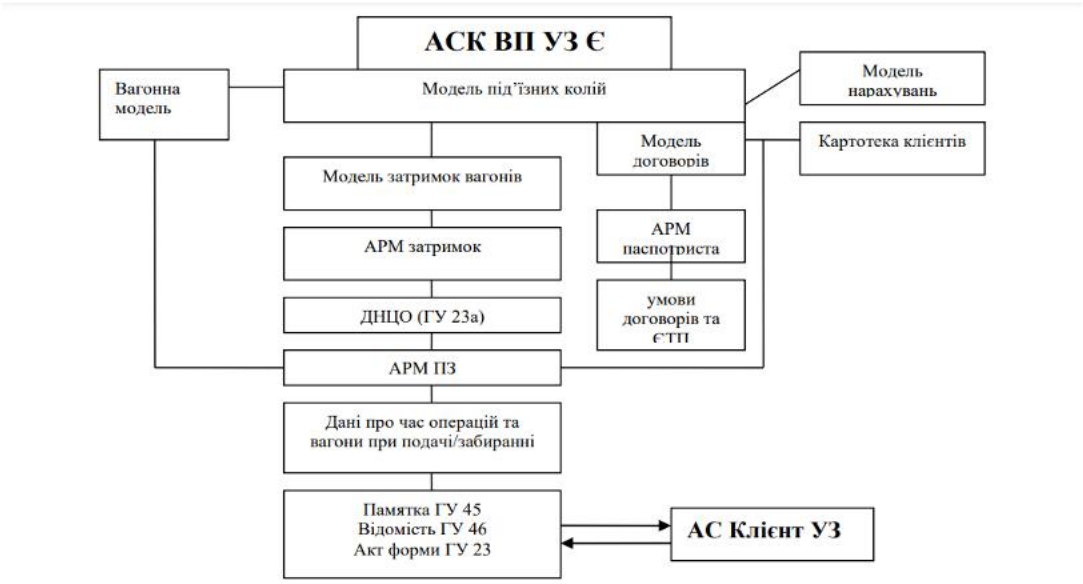


Рисунок 5.1 − Схема формування єдиного інтегрованого інформаційного середовища залізничних вантажних перевезень в Укрзалізниці

Основні моделі, які входять в структуру АСК ВП УЗ:

- моделі управління рухом поїздів: система автоматизованого управління рухом поїздів (АСУРП) – ця система здійснює моніторинг і управління рухом поїздів на основі інформації з датчиків, сигналізації та розкладу. Вона дозволяє: координацію руху поїздів на різних ділянках залізниці, автоматичне регулювання швидкості та дистанцій між поїздами, забезпечення безпеки руху (запобігання зіткнень, перевантажень, перевищення швидкості);

- моделі автоматизованого контролю за станом колій та інфраструктури: система моніторингу стану колій і будівельних споруд – постійне спостереження за технічним станом інфраструктури, в тому числі за колійними системами, мостами, тунелями тощо. Функції: виявлення пошкоджень та деформацій в коліях; оцінка зносу та коригування технічного обслуговування.

- моделі діагностики та обслуговування рухомого складу: система моніторингу рухомого складу (локомотивів, вагонів) – збір та обробка даних про технічний стан поїздів, включаючи локомотиви та вагони. Ці моделі включають: виявлення несправностей в роботі двигунів, системах гальмування, електроніці та інших частинах; прогнозування необхідних ремонтів і технічного обслуговування для зниження часу простою;

- моделі автоматизованого контролю за енергоспоживанням: система управління енергоспоживанням – моніторинг та оптимізація витрат енергії на залізничному транспорті, зокрема для електричних поїздів. Включає: контроль за споживанням енергії на маршрутах; оптимізацію режимів роботи для зниження витрат на електроенергію;

- моделі управління логістикою та вантажними перевезеннями: система автоматизованого управління вантажними перевезеннями (АУВП) – оптимізація процесів перевезення вантажів, управління вагонами і вантажними поїздами. Включає: моніторинг стану вантажів, координування перевезень, оптимізацію маршрутів і складу поїздів для забезпечення своєчасних поставок;

- моделі безпеки та аварійного управління: система аварійного реагування та безпеки – контроль за аварійними ситуаціями та забезпечення безпеки на залізниці.

Функції включають: виявлення аварійних ситуацій (наприклад, на коліях чи у локомотиві); автоматичне повідомлення диспетчерів і відповідних служб, запобігання несанкціонованому доступу на території залізниці.

- моделі управління інформацією та зв'язком: система збору та обробки даних – моніторинг та обробка величезної кількості даних від усіх підсистем. Включає: візуалізація даних для диспетчерів та операторів, оперативне управління і прийняття рішень на основі зібраних даних.

Основні функції АСК ВП УЗ: автоматичний контроль і управління рухом поїздів; підтримка безпечного та ефективного руху поїздів; автоматизація розкладу і координація поїздів на маршруті; моніторинг технічного стану інфраструктури та рухомого складу, до якої входить перевірка та прогнозування технічного обслуговування, оперативне виявлення несправностей; управління логістикою вантажних перевезень, а саме оптимізація вантажних перевезень за часом і витратами, планування і контролювання вантажних потоків; забезпечення безпеки в яку входить контроль за дотриманням стандартів безпеки, аварійне реагування та швидка локалізація загроз, оптимізація енергоспоживання. Збір і обробка даних для прийняття рішень: підвищення ефективності управління через централізоване зберігання і обробку даних, інформаційне забезпечення для прийняття оперативних рішень на різних рівнях управління.

Таким чином, АСК ВП УЗ складаються з численних інтегрованих моделей, кожна з яких виконує ключову роль у забезпеченні безпеки, ефективності та безперебійності роботи залізничної інфраструктури.

З метою підвищення якості залізничних перевезень та збільшення обсягів вантажних перевезень, зокрема при перевезенні контейнерів, запропоновано впровадити новий модуль до АСК ВП УЗ-Є шляхом його інтегрування на АРМи оперативних працівників зокрема ДНЦ, ДСП, ДНЦОВ, ДСЦ, що будуть містити у собі СППР, також на АРМ менеджера з логістики. Це дозволить за допомогою системного підходу узго дити роботу логістичних хабів, прикордонних станцій, логістичних компаній, що призведе до зменшення простоїв вантажів на шляху

прямування, отже зменшаться загальні експлуатаційні витрати на перевезення вантажів, зокрема у контейнерах.

5.2 Удосконалення інформаційно-керуючої системи взаємодії логістичних хабів і прикордонних станцій в умовах міжнародних перевезень

Впровадження прогнозної моделі надходження контейнерів на логістичні хаби в автоматизовану систему керування вантажних перевезень (АСК ВП УЗ-Є) є важливим етапом у підвищенні ефективності транспортно-логістичних процесів. Метою впровадження є забезпечення точного прогнозування обсягів і часу надходження контейнерів до логістичних хабів Завдяки чому відбудеться оптимізація таких ресурсів як залізничного транспорту, складських площ, вантажно-розвантажувальної техніки та підвищення оперативності та зменшення витрат у ланцюгах постачання. Ключовими завданнями моделі є прогнозування обсягів контейнерів, модель передбачає кількість контейнерів, які надійдуть до конкретного хабу у певний період; використання історичних даних і сучасних алгоритмів Big Data та машинного навчання. Також відбудеться оптимізація маршрутів за рахунок забезпечення найкращих шляхів переміщення контейнерів із врахуванням прогнозованих надходжень.

Пропонується інтегрувати модель в АСК ВП УЗ-Є для автоматизованого управління вагонами та перевезеннями.

Етапи впровадження будь складатись з таких етапів як аналіз даних, заключається у зборі історичних даних про вантажопотоки, затримки та час доставки контейнерів; вивчення параметрів впливу: сезону, типу вантажів, маршрутів. Інтеграція в АСК ВП УЗ-Є починається з адаптація прогнозної моделі для автоматичного генерування планів роботи хабів та зв’язку із модулями розподілу ресурсів (вагонів, локомотивів, складів). Останній крок – це тестування та

оптимізація, до якого входять запуск моделі на невеликих ділянках для валідації її точності і налаштування алгоритмів залежно від результатів тестування.

Масштабування системи можна запровадити за рахунок впровадження прогнозної моделі для всієї мережі логістичних хабів. Це дозволить досягти підвищення точності планування так як завдяки прогнозам зменшується ймовірність перевантаження або недостатнього використання ресурсів; зменшення часу очікування контейнерів так як автоматизація розподілу ресурсів забезпечує швидшу обробку вантажів. Впровадження такої моделі стане вагомим кроком у цифровій трансформації залізничної логістики, сприяючи підвищенню конкурентоспроможності УЗ на ринку вантажних перевезень.

Удосконалена структура АСК ВП УЗ-Є в умовах перевезення контейнерів наведена на рис. 5.3.



Рисунок 5.3– Удосконалена структура АСК ВП УЗ-Є контейнерних перевезень

З автоматизованих місць лінійного рівня, а саме АРМ ДСЦ, АРМ ДСП в базу АСК ВП УЗ-Є надходить інформація про кількість накопичених контейнерів на станції, про підхід поїздів до станції та їх склад. На основі цієї інформації та даних про завантаженість перевантажувального комплексу на прикордонній станції, що передається в базі данних на АРМ ДНЦВ, а також з урахуванням заявок транспортно-логістичних компаній через систему АС Месплан, плану формування вантажних поїздів програма моделює складну задачу стохастичної оптимізації за допомогою математичного апарату - теорії випадкових потоків. Вирішення якої, дозволяє визначити оптимальний час закінчення накопичення контейнерів в необхідній кількості з урахуванням навантаженості перевантажувального комплексу прикордонної станції і початку їх транспортування. Від кількості накопичених контейнерів залежить спосіб і відповідна їх собівартість переміщення: у складі прямого маршруту, у складі неповносоставного, прямого поїзда, у складі інших поїздів із подальшим переформуванням на сортувальній станції на шляху прямування. Дані отримані в результаті моделювання, по каналам зв'язку направляються для узгодження АРМ ДНЦ та АРМ головного диспетчера УЗ. Скорегований та узгоджений план перевезень направляється на автоматизовані робочі місця лінійних підрозділів (станцій) і працівники станцій в день причеплення вагонів до поїздів доповідають інформацію ДНЦ і в центри управління вагонами операторських компаній про виконання плану перевезень.

Також пропонується створити інформаційний зв'язок з менеджером з логістики та АСК ВП УЗ-Є та часткове впровадження на його АРМ системи підтримки прийняття рішень, що дозволить вирішувати такі задачі як: прогнозування надходження контейнерних партій, оперативне планування; доведення планів до виконавців. Менеджер буде володіти інформацією щодо знаходження, накопичення певних контейнерів та у складі якого поїзду планується їх транспортування.

База даних АСК ВП УЗ-Є поєднана з прикордонними станціями для обміну інформацією, яка зберігається та використовується для виконання прогнозу надходження контейнерних партій на станцію.

Планування навантаження платформ для контейнерного або вантажного поїзду встановлюють згідно з технічним та державним планами навантаження, на підставі заявок вантажовідправників через АС МЕСПЛАН, надходження порожніх платформ, виконується заступником начальника відділу перевезень або черговим вагонорозпорядником (ДНЦВ) на добу із зазначенням навантаження за родом вантажу.

Вихідними даними для складання плану вивантаження є:

− передбачувана наявність платформ на станціях вивантаження до початку доби, на яку розробляється план;

− -дані з АСК ВП УЗ-Є про кількість платформ, які планується навантажити в адресу станцій дирекції з інших полігонів і які повинні бути вивантажені в добу, на яку розроблюється план;

− передбачуване надходження контейнерів з інших залізниць та дирекцій - кількість накопичених контейнерів на тій чи іншій станції.

Таким чином, на основі сформованої автоматизованої технології удосконалено ІКС у складі АСК ВП УЗ-Є за рахунок інтегрування до АРМ оперативних працівників додаткових функці.

Після обробки всієї інформації та прогнозу надходження контейнерної партії на станцію, який виконується на основі застосування методів нейронних мереж, визначається оптимальний час завершення накопичення контейнерної партії та варіант відправки контейнерів. СППР інтегрується до автоматизованого робочого місця чергових по станції (АРМ ДСП), маневрового диспетчера (АРМ ДСЦ) на залізничних термінальних і прикордонних станціях, що підключене до Єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці.

Впровадження даної технології дозволить зменшити простої контейнерів і залізничного рухомого складу на залізничних станціях, а також мінімізувати кількість випадків затримки вантажів при транспортуванні, що в свою чергу призведе до здешевлення і пришвидшення доставки вантажів у міжнародному сполученні.

6 Визначення економічної ефективності від впровадження автоматизованої технології на основі прогнозування надходження контейнеропотоків

6.1 Визначення економічної ефективності від впровадження запропонованої автоматизованої технології

Впровадження запропонованої технології надасть можливість зменшити невиробничі простої контейнерів на прикордонних станціях. Тим самим зменшити частину вартості шляху перевезення контейнерів у міжнародному сполученні.

Таким чином, дана технологія дозволяє скоротити час використання контейнерів шляхом зменшення непродуктивних простоїв на прикордонних станціях приблизно на $\Delta к = 7\%$ та час використання фітингових платформ на $\Delta_{пл} = 7\%$, що зменшить собівартість транспортування контейнерів залізницею.

Економічний результат від впровадження даної технології становитиме

$$E = \left(\frac{\Delta_к}{100} К_к t \cdot e_{к-г} + \frac{\Delta_{пл}}{100} К_{пл} t \cdot e_{в \cdot г} \right) T \qquad (6.1)$$

де $К_к$ – середня кількість контейнерів, які очікують операції подачі на перевантажувальний комплекс прикордонної станції та початку перевантаження $n_в = 50$;

$к_{пл}$ – середня кількість фітингових платформ завантажених контейнерами, що знаходяться на перевантажувальній станції в очікуванні вивантаження, $n_c = 25$;

$e_{пл}$ – витратна ставка за одну вагоно-годину, $e_{в \cdot г} = 9,67$ грн.;

$e_{к \cdot г}$ – витратна ставка за одну контейнеро-годину простою, розрахована згідно Збірника тарифів і коефіцієнтів до збірника тарифів вантажів у середньотоннажних

контейнерах і порожніх середньотоннажних контейнерів (усі коди, 391159, 391464, 391479, 391483, 391498) (ВТ нр 2002) – 4,112**;** [42,43], $e_{в\cdot г} = 9,67$ грн з урахуванням витратна ставка за одну вагоно-годину і складає $e_{к\cdot г} = 39,76$ грн

t – сумарна тривалість робочих змін, $t = 24$ год;

T – звітний період розрахунку показника, $T = 365$ діб;

Економічний результат для першого року впровадження становитиме:

$$E = \left(\frac{70}{100} 50 \cdot 9,67 \cdot 24 + \frac{70}{100} 25 \cdot 39,76 \cdot 24 \right) 365 = 9 \text{ млн. грн}$$

Тоді з урахуванням дисконтування, яке необхідне для врахування зміни вартості грошей при приведенні грошової оцінки результату до першого року який прийнято за розрахунковий, сумарний результат визначається наступним чином

$$O = \alpha_i \sum_{i=1}^{n} O_i \,. \tag{6.2}$$

Капітальні витрати за перший рік складаються із вартості розробки програмного забезпечення, підготовкb системи до експлуатації (пуско-налагоджувальні роботи) і становитимуть $C_K = e_{ПЗ} = 1 млн.$ грн.

Поточні витрати виникають в наслідок необхідності здійснення підтримки і переналагодження программного забезпечення, і складають $\delta_{ПЗ} = 10$ % на рік від його вартості.

Таким чином поточні витрати на першому році впровадження системи становитимуть

$$C_1^{П} = \frac{\delta_{ПЗ}}{100} \cdot e_{ПЗ} = \frac{10}{100} \cdot 1000000 = 100 \text{ тис грн} \,. \tag{6.3}$$

Для визначення економічного ефекту також необхідно врахувати витрати при реалізації проекту

$$C = \sum_{i=1}^{n} \left(\left(C_i^K + C_i^П \right) \alpha_i \right), \tag{6.4}$$

де C_i^K – капітальні витрати на i -му році;

$C_i^П$ – поточні витрати на i -му році;

α_i – коефіцієнт дисконтування на i -му році;

n – кількість років.

Результати і витрати різних років приводимо до першого року життєвого циклу проекту, тобто визначаємо в теперішній вартості грошей (дисконтування). Коефіцієнт приведеного економічного ефекту розраховується за формулою [40]

$$\alpha_t = \frac{1}{\left((1+i)(1+r) \right)^{t_k - t_P}}, \tag{6.5}$$

де i – очікувана середня річна ставка комерційних банків за депозитними внесками (дисконтна ставка), частки одиниці; i =0,13 (Приватбанк);

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

t_p – порядковий номер розрахункового року;

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

$$\alpha_{2027} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{0}} = 1;$$

$$\alpha_{2028} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{1}} = 0,8194;$$

$$\alpha_{2029} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{2}} = 0,6714;$$

$$\alpha_{2030} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{3}} = 0,5502;$$

$$\alpha_{2031} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{4}} = 0,4510;$$

$$\alpha_{2032} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{5}} = 0,3694;$$

$$\alpha_{2033} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{6}} = 0,3027;$$

$$\alpha_{2034} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{7}} = 0,2480;$$

$$\alpha_{2035} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{8}} = 0,2032;$$

$$\alpha_{2036} = \frac{1}{((1+0,13)(1+0,09))^{9}} = 0,1665.$$

Економічний ефект від реалізації проекту можна визначити наступним чином

$$E = \sum_{i=1}^{n} \left(\left(O_i - \left(C_i^K + C_i^П \right) \right) \alpha_i \right). \qquad (6.6)$$

Таким чином економічний ефект на першому році експлуатації запропонованої автоматизованої системи становитиме:

$$E_1 = \left(9*10^6 - \left(1*10^6 + 100 \right) \right) \cdot 1 = 7,9 \text{ млн грн}$$

В таблиці 6.1 наведені розрахунки економічного ефекту по роках, а на рисунку 6.1 – наведена динаміка зростання витрат, економічного результату та економічного ефекту при експлуатації автоматизованої системи.

Таблиця 6.1 – Розрахунок економічного ефекту

Покажчик	Роки									
	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Одночасні витрати, млн.грн.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Результати, млн.грн.	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Поточні витрати, млн.грн.	0,1	0, 1	0,1	01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Економічний ефект, млн.грн.	7,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9	8,9
Коефіцієнт дисконтування	1	0,819	0,67	0,55	0,45	0,37	0,30	0,25	0,20	0,17
Дисконтований економічний ефект, млн.грн.	7,9	7,29	5,96	4,89	4,0	3,29	2,67	2,23	1,78	1,5
Дисконтований економічний ефект наростаючим підсумком, млн.грн	7,9	15,19	21,15	26,09	30,04	33,33	36	44,92	46,7	48,2

Впровадження розробленої автоматизованої технології управління пропуску контейнеропотоків через прикордонну станцію Чоп надасть можливість для скорочення невиробничих простоїв контейнерів та фітингових платформ. Економічний ефект від використання запропонованої технології на підприємстві протягом 10 років становитиме 48,2 млн. грн.

Висновки

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання з удосконалення технології планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків до логістичних хабів.

У ході виконання роботи проведено аналіз сучасного стану контейнерних перевезень та розвитку логістичних хабів, досліджено процес надходження контейнеропотоків і встановлено його стохастичний характер. Виявлено, що нерівномірність надходження контейнерів є однією з основних причин збільшення простоїв контейнерів та рухомого складу, а також неефективного використання технічних ресурсів логістичних хабів.

На основі проведених досліджень розроблено прогнозну модель надходження контейнеропотоків із використанням рекурентної нейронної мережі типу LSTM. Результати перевірки підтвердили адекватність та високу точність моделі, що дозволяє використовувати її для прогнозування інтенсивності надходження контейнерів у майбутніх планових періодах.

На основі прогнозних даних розроблено модель підтримки прийняття рішень щодо планування контейнерних перевезень, яка дозволяє визначати раціональний час накопичення контейнерних партій та підвищувати ефективність організації перевізного процесу. Запропоновано інтеграцію розробленої моделі до автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями АСК ВП УЗ-Є для забезпечення інформаційної підтримки оперативного персоналу станцій та менеджерів з логістики.

Практичне впровадження запропонованих рішень забезпечує скорочення простоїв контейнерів і фітингових платформ, підвищення ефективності використання транспортної інфраструктури та покращення якості планування контейнерних перевезень.

Список використаних джерел

1. Панченко В.С. Аналіз розвитку інтермодальних перевезень у світі. Тези 85 Студентської науково-технічної конференції (10-11 грудня 2025 р.), Харків, 2025. - [Електронний ресурс]: тези. – URL: https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/tezi-sntk-85_2025.pdf

2. Колісник А.В., Панченко В.С., Шпек Т.В., Алієв І.Е.Підвищення ефективності інтермодальних перевезень за рахунок оптимізації процесів на етапах «першої та останньої милі». Збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт та інфраструктура» (23–25 квітня 2026 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2026. С. 51-52.

3. Stefan Huber, Daniela Luft, Jens Klauenberg, Carina Kehrt. Integration of Transport Logistics Hubs in Freight Transport Demand Modelling. European Transport Research Review 7(4). 2014. P.1-21.

4. Alla Grechan, Artem Bezuglyi, Olena Parfentieva and other. Fulfillment of sustainable development goals by the example of the transport and logistics sector. Financial and credit activity: problems of theory and practice Volume 4 (45), 2022.P.191-201.

5. José Holguín-Veras, Ellen Thorson. Trip Length Distributions in Commodity-Based and Trip-Based Freight Demand Modeling: Investigation of Relationships. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 1707(1).2000.P. 37-48.

6. Michael Meyer. Freight Demand Modeling: Tools for Public-Sector Decision Making. URL: https://www.academia.edu/115515265/Freight_Demand_Modeling_Tools_for_Public_Sector_Decision_Making

7. Drewes Nielsen, L., Jespersen, P.H., Petersen, T., Hansen, L.G. Freight transport growth – a theoreti-cal and methodological framework. European Journal of Operations Research, 144. 2003. P. 295-305.

8. Чайка-Петегирич Л. Б. Мультимодальні та інтермодальні вантажоперевезення в системі міжнародної транспортної логістики. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Випуск 33. Ч. 2. 2020. Р.114-117.

9. Nikola Besinovi, Lorenzo De Donato, Francesco Flammini. Artificial Intelligence in Railway Transport: Taxonomy, Regulations and Applications. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems PP (99). 2021.

10. X. Wei, Z. Yang, Y. Liu, D. Wei, L. Jia, and Y. Li. Railway track fastener defect detection based on image processing and deep learning techniques: A comparative study. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 80, pp. 66 – 81. 2019.

11. Примаченко Г. Основи організації логістики у мультимодальних транспортних системах за участю залізничного транспорту [Електронний ресурс]. URL: https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2024/04/transport2-76-107.pdf

12. Запара В.М., Запара Я.В. Гергель І.Г. Удосконалення технології роботи залізничного вузла шляхом застосування сучасних логістичних підходів. URL: https://www.researchgate.net/publication/329761982_UDOSKONALENNA_TEHNOLOGII_ROBOTI_ZALIZNICNOGO_VUZLA_SLAHOM_ZASTOSUVANNA_SUCASNIH_LOGISTICNIH_PIDHODIV

13. Обсяги перевезень "Укрзалізницею" вантажів у контейнерах за підсумками 2025 року склали 241 582 TEU. URL: https://cfts.org.ua/news/2026/01/15/obsyagi_perevezen_ukrzaliznitseyu_vantazhiv_u_konteynerakh_za_pidsumkami_2025_roku_sklali_241_582_teu_85569?

14. "Укрзалізниця" в 2024 році збільшила контейнерні перевезення на 28%: яка їхня структура URL: https://delo.ua/news/ukrzaliznicya-v-2024-roci-zbilsila-konteinerni-perevezennya-na-28-yaka-yixnya-struktura-440889/

15. Контейнерні перевезення. URL: https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/intermodal_transportation/container/

16. Статистичні дані по АТ «Укрзалізниця».URL: https://mindev.gov.ua/diialnist/napriamy/zaliznychnyi-transport/statystychni-dani-pro-ukrainsku-zaliznytsiu/statystychni-dani-po-at-ukrzaliznytsia-za-2023-2024-roky

17. Залізничні перевезення 2025: основні тренди. URL: https://cfts.org.ua/infographics/zaliznichni_perevezennya_2025_osnovni_trendi?utm_source=chatgpt.com

18. Укрзалізниця планує запустити поїзди до порту Дуйсбург: URL: https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/632782/

19. Міжнародні транспортні проекти як стратегічний чинник розвитку залізничного транспорту. URL: https://niss.gov.ua/doslidzhennya/ekonomika/mizhnarodni-transportni-proekty-yak-stratehichnyy-chynnyk-rozvytku

20. Freight transported in containers - statistics on unitisation URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Freight_transported_in_containers_-_statistics_on_unitisation

21. File: Rail transport of intermodal transport units, 2020 (% share of total rail freight transport, based on tonne-kilometres). URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Rail_transport_of_intermodal_transport_units,_2020_(%25_share_of_total_rail_freight_transport,_based_on_tonne-kilometres).png

22. Про затвердження положення "Про порядок митного оформлення перевезень товарів та інших предметів між митницями". URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0246342-93#Text

23. Положення про порядок здійснення контролю за доставкою вантажів у митниці призначення. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0042-99#Text

24. Функціонування транспортного сектору України в умовах правового режиму воєнного стану. URL: https://niss.gov.ua/news/komentari-ekspertiv/funktsionuvannya-transportnoho-sektoru-ukrayiny-v-umovakh-pravovoho/

25. Методика розрахунку логістичних витрат. URL: https://ena.lpnu.ua:8443/server/api/core/bitstreams/66d98c43-12ca-4e89-a7a2-88b029fba6b7/content

26. Крамер, Г. Математические методы статистики [Текст] / Г. Крамер; пер. с англ. А. С. Монина и А. А. Петрова; под ред. А. Н. Колмогорова. – 2-е изд., стер. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

27. Butko T., Prokhorov V., Kolisnyk A., Parkhomenko L. Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020. Vol. 1, № 3 (103). P. 6–12. DOI: 10.15587/1729- 4061.2019.156098.

28. Hochreiter S., Schmidhuber, J. Long short-term memory. *Neural Computation.* 1997. № 9 (8). P. 1735–1780.

29. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature.* 2015. № 521 (7553). P. 436–444.

30. Покровская М. А. Метод прогнозирования изменения трафика с использованием нейросетевой модели. Телекоммуникации и Транспорт. 2012. №6. С. 27–30.

31. Колісник А. В. Формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею на основі теорії випадкових потоків: автореф. дис. … канд. техн. наук: 01.10.20. Харків. 2020. 195 с.

32. Музикіна С. І., Музикін М. І., Нестеренко Г. І. Дослідження пропускної спроможності сортувальної станції. Наука та прогрес транспорту. 2016. № 2. С. 47–60.

33. Kramer, H. Matematycheskye metody statystyky [Tekst] / H. Kramer; per. s anhl. A. S. Monyna y A. A. Petrova; pod red. A. N. Kolmohorova. – 2-e yzd., ster. – M.: Myr, 1975. – 648 s. [in Russian].

34. Скалозуб В. В., Соловьев В. П., Жуковицкий И. В., Гончаров К. В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий: пособие. Издательство Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В.Лазаряна. 2013. 207 с.

35. Бутько Т. В. Шумик Д. В. Сучасні інформаційні технології в управлінні залізничними підрозділами: конспект лекцій. Харків: УкрДАЗТ. 2014. 85с.

36. Лаврухін О. В., Долгополов П. В., Петрушов В. В., Ходаківський О. М. Інформаційні системи та технології при управлінні залізничними перевезеннями: навчальний посібник. Харків. 2011. 118с.

37. Балака Є.І., Зоріна О.І., Колесникова Н.М., Писаревський І.М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: Навч. посібник. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 210 с.

38. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги та коефіцієнти до збірника тарифів. URL:https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/tariff_conditions/transportation_in_ukraine/

39. Тарифное руководство №4 железных дорог Украины / [отв. за выпуск Чорный В.В.]. – К.: ЛОГОС, 2001. – 403с.

40. Наказ, Технологічна схема від 19.10.2004 № 600/928/158. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0600483-04#Text

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра

на наявність ознак академічного плагіату

Відповідно до даних сервісу StrikePlagiarism.com кваліфікаційна робота «Удосконалення технології планування контейнерних перевезень на основі прогнозування надходження контейнеропотоків», автора Панченка Владислава Сергійовича містить 0,69 % запозичень. Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконав
Інженер Центру забезпечення якості
вищої освіти УкрДУЗТ _____ Андрій БАБЕНКО
(підпис)

13.06.2026