

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРЯМКІВ УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ
ВАНТАЖІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ УКРАЇНИ

Пояснювальна записка і розрахунки
до випускної кваліфікаційної роботи

УВКРП.200.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д23
спеціальності 275 / 275.02

(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

_____ Ярослав БЄЛЯЄВ

Керівник: професор, канд. техн. наук
Віктор ЗАПАРА

Рецензент: професор, д-р. техн. наук
Олександр ОГАР

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 18 слайдів презентації, 82 аркуші пояснювальної записки формату А4, що включає 20 рисунків, 10 таблиць, 36 літературних джерел.

Ключові слова: ЕКСПОРТ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, КОНЦЕНТРАЦІЯ ВАНТАЖЕННЯ, МАРШРУТИЗАЦІЯ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНА.

Об'єктом дослідження є процес організації перевезення зернових вантажів залізницею.

Метою дослідження є удосконалення перевезення зернових вантажів залізницею України, зокрема покращення експлуатаційних показників через перегрупування районів концентрації і вантаження зерна.

У кваліфікаційній роботі показано, що одна із найважливіших ознак при перевезенні зерна у морські порти є значна розкиданість станцій вантаження, при чому близько 80% із них не можуть відвантажувати й формувати зернові маршрутні поїзди. Організація відправницької маршрутизації перевезень залізницею зернових вантажів можлива за створення необхідної мережі вузлових станцій для концентрації вантаження зерна.

Запропоновано розташування вузлових станцій й формування на їх базі районів концентрації вантаження зерна. Показано, що вирішення пропозиції є досить складною багатоваріантною й багатофакторною оптимізаційною задачею. Вирішено задачу формування районів концентрації навантаження навколо вузлових станцій, яка формалізована як задача багатокритеріальної оптимізації із булевими змінними.

Розраховано загальний економічний ефект від маршрутизації відправок з запропонованих районів концентрації вантаження зерна.

ABSTRACT

This qualifying work includes 18 presentation slides, 82 sheets of A4 format explanatory note, which includes 20 figures, 10 tables, 36 literary sources.

Keywords: EXPORT, SIMULATION MODEL, LOAD CONCENTRATION, ROUTING, GRAIN TRANSPORTATION.

The object of the study is the process of organizing the transportation of grain cargo by rail.

The purpose of the study is to improve the transportation of grain cargo by Ukrainian railways, in particular, improving operational performance through the regrouping of grain concentration and loading areas.

The qualification work shows that one of the most important features in the transportation of grain to seaports is the significant dispersion of loading stations, with about 80% of them unable to unload and form grain route trains. The organization of dispatch routing of grain cargo transportation by rail is possible by creating the necessary network of hub stations for the concentration of grain loading.

The location of nodal stations and the formation of grain loading

concentration areas based on them are proposed. It is shown that the solution of the proposal is a rather complex multivariate and multifactor optimization problem. The problem of forming load concentration areas around nodal stations is solved, which is formalized as a multi-criteria optimization problem with Boolean variables.

The overall economic effect of routing shipments from the proposed grain loading concentration areas has been calculated.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

доцент, канд. техн. наук

Антон КОВАЛЬОВ

«24» лютого 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Беляєву Ярославу Андрійовичу

1 Тема «Дослідження напрямків удосконалення перевезення зернових вантажів залізницею України»

керівник Запара Віктор Мефодійович, канд. техн. наук, професор
затверджені розпорядженням по факультету Управління процесами перевезень від 24 лютого 2025 року №04/25

2 Строк подання студентом закінченої роботи– 16 червня 2025 року

3 Вихідні дані: Обсяги виробництва, експорту та перевезення різними видами транспорту, в т.ч. залізничним транспортом зернових вантажів; кількість станцій навантаження та відстані між ними;
середній простій вагонів під однією вантажною операцією; обіг вагона;
вартість простою вагона-зерновоза на технічних станціях.

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

1.Аналіз стану та перспектив перевезення зернових вантажів

2 Дослідження динаміки експорту зернових вантажів з України під час військового стану і ефективності маршрутизації зернових вантажів

3. Формування імітаційної моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів

4 Визначення економічного ефекту від впровадження нової системи районів навантаження зернових вантажів

5 Перелік графічного матеріалу: Обсяги перевалки експортних зернових вантажів в портах України за 2014-2024 роки. Напрямки вантажних перевезень та структура експорту АТ «Укрзалізниця» за 2024 рік. Загальні помісячні обсяги експорту зерна з України всіма видами транспорту за 2023-2024 роки. Частка сухопутних видів транспорту в загальному експорті зерна з України за 2023-2024 роки. Поелементний аналіз обігу вагона-зерновоза. Формування вихідних даних для вирішення задачі. Формування системи обмежень. Можливі райони концентрації навантаження зерна. Цільова функція для визначення ефективних районів навантаження зерна. Визначені ефективні райони навантаження. Сумарний економічний ефект за 5 років.

6 Консультанти окремих розділів

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

7 Дата видачі завдання 24 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Аналіз стану та перспектив перевезення зернових вантажів	14.04.25 р.	Виконано
2 Дослідження динаміки експорту зернових вантажів з України під час військового стану і ефективності маршрутизації зернових вантажів	03.05.25 р.	Виконано
3. Формування імітаційної моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів	25.05.25 р.	Виконано
4 Визначення економічного ефекту від впровадження нової системи районів навантаження зернових вантажів	09.06.25 р.	Виконано
5 Оформлення роботи, отримання рецензії	16.06.25 р.	Виконано

Студент _____ Ярослав БСЛЯЄВ

Керівник _____ Віктор ЗАПАРА .

Зміст

Вступ	8
1. Аналіз стану та перспектив перевезення зернових вантажів	11
1.1 Експортний зерновий потенціал агросектору України	11
1.2 Транспортування зернових вантажів АТ «Укрзалізниця»	15
1.3 Аналіз публікацій з проблематики перевезення зернових вантажів залізницями	22
2. Дослідження динаміки експорту зернових вантажів з України в умовах військового стану і ефективності маршрутизації зернових вантажів	26
2.1 Дослідження динаміки експорту зернових вантажів з України під час військового стану	26
2.2 Дослідження ефективності маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів	37
3. Формування імітаційної моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів	47
3.1 Концентрація вантажопотоків на вузлових елеваторах	47
3.2 Визначення районів концентрації навантаження зерна	50
3.3 Визначення вузлових станцій для навантаження маршрутів	54
3.4 Визначення районів можливої концентрації вантажних операцій з зерновими вантажами	60
3.5 Визначення ефективних районів концентрації навантаження зерна	62

					ДНУПЗ.200.00.00.000 ПЗ						
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розробив	Беляєв				Дослідження напрямків удосконалення перевезення зернових вантажів залізницею України			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Запара									6	82
Реценз.								УкрДУЗТ 6			
Н. Контр.	Запара										
Затверд.	Ковальов										

4 Визначення економічного ефекту від впровадження нової системи районів навантаження зернових вантажів	68
4.1 Визначення вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях без впровадження пропозицій щодо маршрутизації	68
4.2 Визначення вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях та економічного ефекту після впровадження запропонованої концентрації	73
Висновки	76
Список використаних джерел	79

					ДНУПЗ.200.00.00.000 ПЗ	7 Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		7 5

Вступ

Для нарощування експорту необхідно, щоб країна мала в достатній кількості конкурентоспроможний товар. Для України таким товаром якраз і є зерно. Останніми роками Україна значно збільшувала експорт зернових вантажів. Навіть за рік військового стану (з 31.03.2022 по 31.03.2023 року) з України експортовано 58,2 млн т зернових, в т.ч. з використанням «зернового коридору» - 26,9 млн т [5], а за три останні роки (з березня 2022 по березень 2025 року) – 179,3 млн т. В грошовому еквіваленті експорт зернових становив, наприклад, у 2022 році 45% від загального експорту країни .

Актуальність теми. Україна залишається одним із світових лідерів поставок зернових. Однак частка експорту через сухопутні переходи за останні два роки знижується із-за більш активної роботи портів, в т.ч. знизився експорт залізницею з 16,7% за 2023 рік до 9,5% зерна за 2024 рік [5]. Отже, беззаперечно важливим є організація максимально ефективної системи доставки цього зерна саме залізницею, яка залишається головним видом транспорту при доставці зернових вантажів до портів України.

На сьогодні українські аграрії фактично стали донорами логістичної галузі. У 2022 році значну частину прибутків від експорту зернових отримали інфраструктурні та логістичні компанії, зокрема іноземні. Через суттєве зростання логістичних витрат (у 5–6 разів) найбільших втрат зазнали саме виробники, які орієнтувалися на перевезення продукції за допомогою АТ «Укрзалізниця» та використовували рухомий склад перевізника.

Внутрішню логістику залізничних перевезень в Україні формують дві ключові складові: тариф на перевезення та вартість користування вагонами перевізника. У 2022 році тариф був суттєво підвищений — майже на 70% (з 6,5 до 11 доларів США за тонну). Одночасно зросла і плата за користування вагонами АТ «Укрзалізниця», що ще більше ускладнило логістичні витрати для агровиробників.

Останнім часом АТ «Укрзалізниця» активізувала політику підвищення рівня маршрутизації власних перевезень, зокрема і для зернових вантажів. Пріоритет у наданні порожніх вагонів-зерновозів отримують ті підприємства, які здатні формувати маршрутні відправки. Це призводить до дефіциту рухомого складу для компаній, що здійснюють відправлення вагонними відправками. У кваліфікаційній роботі запропоновано технічно та економічно обґрунтований варіант вирішення цієї задачі.

Об'єкт дослідження роботи - процес організації транспортування зернових вантажів залізничним транспортом.

Предмет дослідження - напрямки удосконалення перевезення зернових вантажів залізницею України.

Метою даної кваліфікаційної роботи є вдосконалення організації перевезень зернових вантажів залізничним транспортом в Україні шляхом підвищення ефективності експлуатаційних показників через оптимізацію структури районів концентрації вантаження зерна.

Щоб досягти вказану мету необхідно вирішити наступні завдання:

- вивчити стан та перспективи перевезення зернових вантажів залізницею України;
- провести дослідження динаміки експорту зернових вантажів з України за умов військового стану і ефективності маршрутизації зернових залізничним транспортом;
- сформувати імітаційні моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів і мережі вузлових станцій, де необхідно буде забезпечити вантаження й формування відповідних маршрутних поїздів;
- визначити економічний ефект щодо запропонованої системи перевезення зерновантажів залізницею.

Методи використані в роботі. При аналізі системи експорту зернових вантажів використано: математичну статистику та теорію нечітких множин, системний аналіз. Райони вантаження зерна й вузлові станції, де формуватимуться маршрутні поїзди, встановлено за допомогою методів

багатокритеріальної оптимізації, кластерного аналізу і теорії множин. При визначенні економічної ефективності задіяно метод середніх темпів.

Елементи наукової новизни. Метод вибору вузлових станцій та районів концентрації вантаження зерна адаптовано на основі кластерного аналізу, який враховує не тільки економічно-експлуатаційні критерії ефективності перевізного процесу, але й транспортно-технологічні параметри загальної транспортної мережі стосовно умов конкретної регіональної філії.

Публікації. Опубліковано тези доповіді: «Шляхи покращення взаємодії вантажовласників-експортерів з залізницею України» за матеріалами П'ятої всеукраїнської науково-практичної конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (Запоріжжя, 12-13 березня 2024 р.) м. Запоріжжя [32], «Вплив інформатизації технологічних процесів перевезень на технічну експлуатацію залізниці» за матеріалами XII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології» (Харків, 25-26 жовтня 2024 р.) м. Харків [33], «Удосконалення сфери послуг клієнтів на ринках ЄС міжнародним підрозділом АТ «Укрзалізниця» за матеріалами 5-ї міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Харків, 25-27 листопада 2024 р.) м. Харків [34], а також «Планування вантажоперевезень як важливий аспект технології роботи залізниці» за матеріалами 84-ї студентської наукової конференції УкрДУЗТ: (Харків, 11-12 грудня 2024 р.) м. Харків [35].

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи складає 82 сторінки. Список використаних джерел складає 36 найменувань.

1. Аналіз стану та перспектив перевезення зернових вантажів

1.1 Експортний зерновий потенціал агросектору України

Зернова галузь є однією з провідних складових економіки України та становить фундамент аграрного експорту. Вона відіграє ключову роль у розвитку більшості секторів агропромислового комплексу, оскільки значною мірою визначає обсяги валютних надходжень від експорту та формує значну частину доходів сільськогосподарських підприємств. Сьогодні саме зернове виробництво впливає на формування цін і обсягів пропозиції основних продуктів харчування для населення, а також на стан і динаміку розвитку сільських територій.

Світове споживання зерна з кожним роком зростає. У 2021/22 маркетинговому році (МР) загальний обсяг виробництва зерна досяг майже 2,8 млрд т. Проте вперше за тривалий період у 2022/23 МР відбулось незначне зниження – до 2,784 млрд т. Світове виробництво пшениці у сезоні 2022/23 МР становило 770,8 млн т, порівняно з 776,8 млн т у попередньому періоді. Виробництво фуражних зернових зафіксовано на рівні 1,494 млрд т (проти 1,503 млрд т раніше), а рису – 519,5 млн т (520,8 млн т у 2021/22 МР) [1]. Крім того, зменшились обсяги світової торгівлі зерновими культурами до найнижчого рівня за останні роки – 464 млн т, що становить зниження на 2,6% у річному вимірі. Зокрема, торгівля пшеницею скоротилася до 188,9 млн т у 2022/23 МР проти 192,1 млн т роком раніше, а фуражними зерновими – до 220 млн т порівняно з 230,1 млн т у 2021/22 МР [1].

За прогнозами, у сезоні 2024–2025 років обсяг торгівлі зерновими у світі скоротиться до мінімального рівня з часу сезону 2019–2020 років. Валове виробництво зернових у світі в 2024 році (2,849 млрд т), на 0,3% нижче за показник 2023 року.

Україна займає вагоме місце на світовому ринку зернових, виступаючи одним із ключових гарантів глобальної продовольчої безпеки. Країна має значний потенціал для подальшого збільшення обсягів виробництва та експорту зернових культур. Зокрема, за підсумками 2019–2020 маркетингового року Україна посіла друге місце у світі за загальним обсягом експорту зернових, поступившись лише США [2].

У 2022 році обсяги виробництва зернових в Україні скоротилися на 37% порівняно з рекордними показниками 2021 року, досягнувши приблизно 53,9 млн т. Це зниження було спричинене низкою чинників, серед яких – тимчасова окупація частини територій, активні бойові дії, замінування звільнених земель, падіння врожайності порівняно з попереднім роком, а також складні погодні умови восени, що ускладнили та суттєво затягнули процес збирання врожаю тощо [3].

Експорт з України зерна, борошна і зернобобових в 2021/22 й 2022/23 МР представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Експорт зерна, зернобобових і борошна з України у 2021/22 і 2022/23 МР

Показник	Обсяг 2022/23 МР, тис. т	Обсяг 2021/22 МР, тис. т
Зернові та зернобобові, всього	38 452	45 138
пшениця	13 170	18 441
ячмінь	2 285	5 648
жито	17,7	161,9
кукурудза	22 676	20 586
Борошно пшеничне	112,9	66,9
Борошно інше	4,6	1,5
Борошно разом	117,5	68,4
У перерахунку на зерно	156,7	91,2
Експорт разом (зерно+борошно)	38 609	45 229

Уже більше трьох років Україна перебуває у військовому стані, який суттєво впливає на рівень розвитку країни, ускладнює міжнародну торгівлю.

З 01.08.2022 по 16.07.2023 року працював «зерновий коридор». Обсяги експорту агропродукції зерновим коридором за цей час склали 32 856 086 т разом, в т.ч. кукурудза -17 014 201 т, пшениця – 8 893 948 т, соняшник – 305 405 т, олія – 1 749 116 т, всього відправлено 1004 судна [4].

Товарна структура та географія експорту за вказаний період показана на рисунку 1.1.

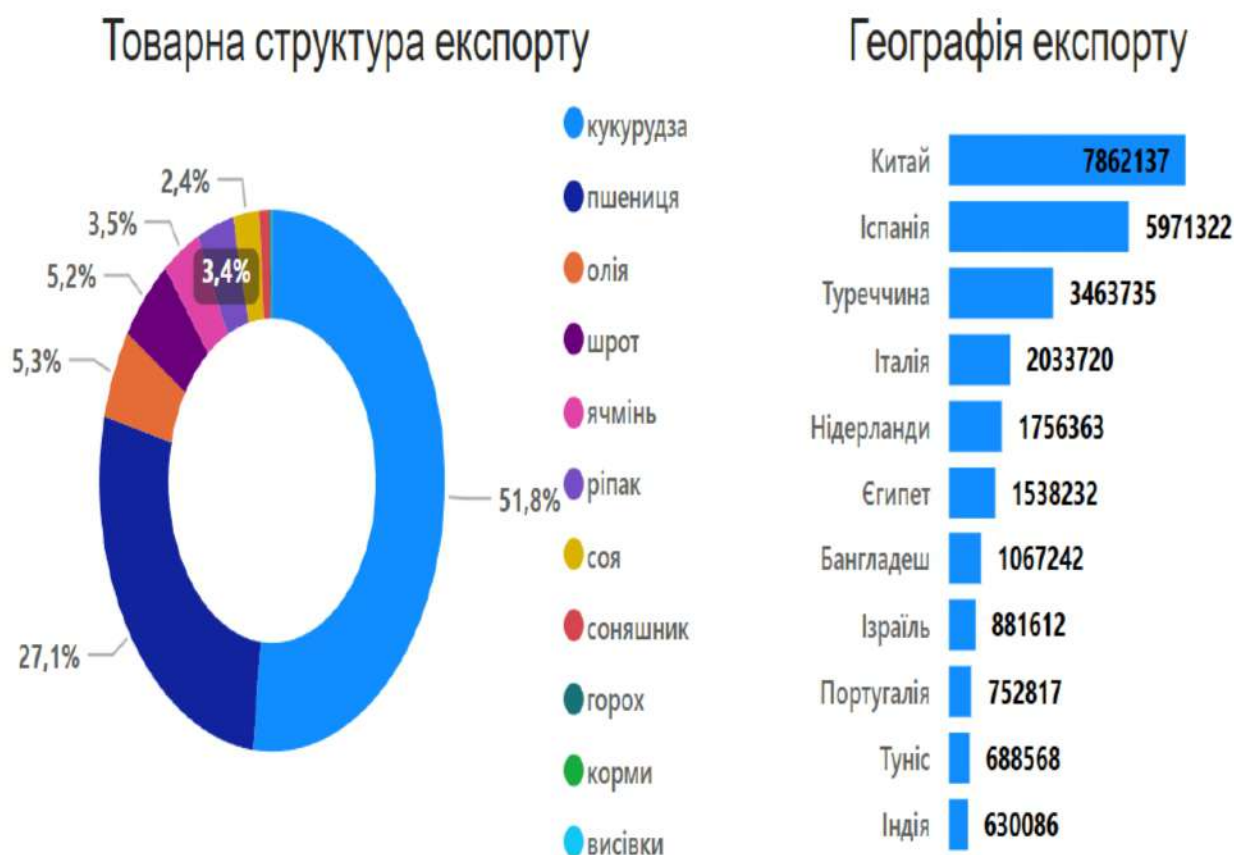


Рисунок 1.1 Товарна структура й географія експорту України зерновим коридором із 01.08.2022 року по 16.07.2023 року

Стан зовнішньої торгівлі продуктами АПК за 2024 рік наведено на рисунку 1.2 (сукупний перетин кордону за видами продукції), а частка видів продукції (у відсотках), що перетнула кордон – на рисунку 1.3.

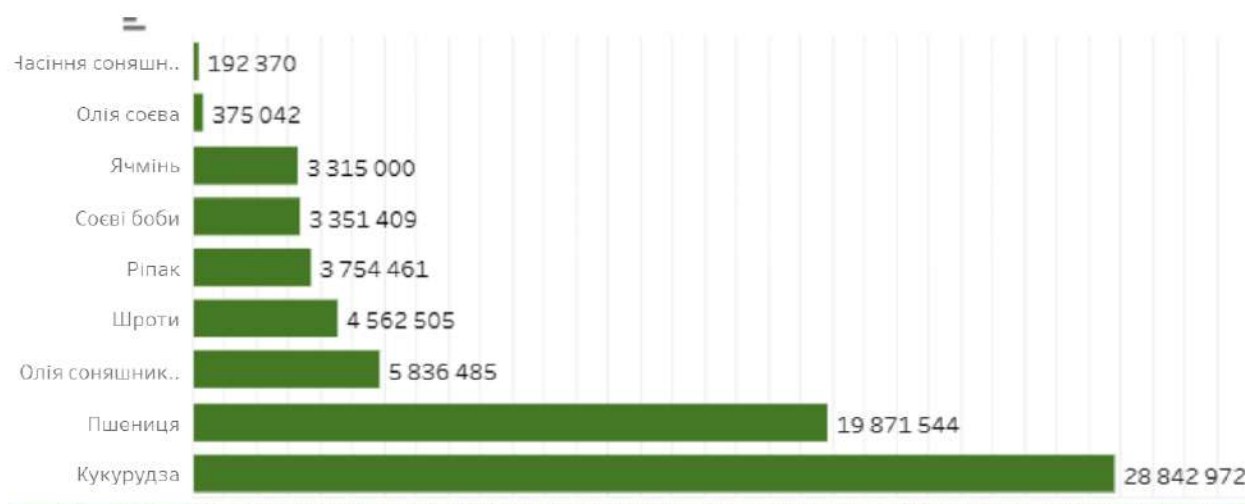


Рисунок 1.2 Сукупний перетин кордону України (експорт) за видами продукції АПК за 2024 рік

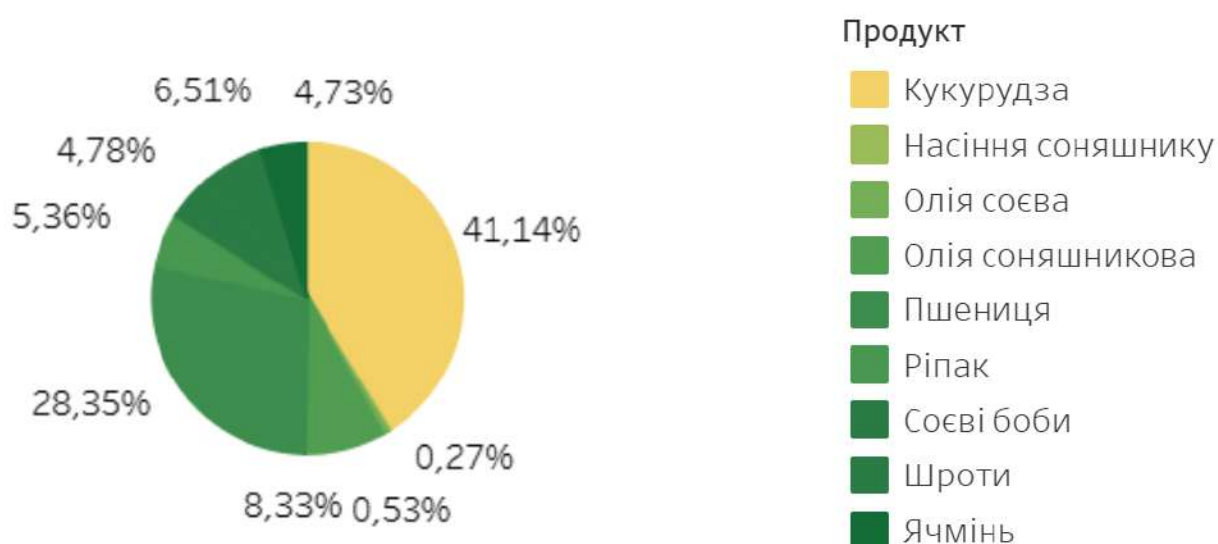


Рисунок 1.3 Частка видів продукції АПК, яка перетнула кордон України (експорт) у 2024 році

Експорт зернових вантажів з України за 2024 рік склав 70 млн т, а за період з 31.03.2022 року по 28.02.2025 року - 179 267 504 т, в тому числі за видами транспорту: через порти – 79,4%, залізницею – 14,5 %, автотранспортом – 5,1%, поромом – 1,0% [5].

Урожай зернових в Україні у 2025/26 МР прогнозується на рівні 55-65 млн. т, експорт зерна – 40-50 млн т. Урожай олійних культур також перевищить минулорічний і очікується на рівні 24 млн т.

Україна у березні 2025 року експортувала 5,4 млн т продукції АПК, що на 9,8% більше аналогічного показника попереднього місяця. Зростання порівняно з попереднім місяцем продемонстрували всі групи товарів, але найбільший приріст був у продуктів переробки олійних рослин, а саме макухи й олії, обсяги експорту яких зросли на 42% та 29% відповідно. Що стосується саме зернових культур, то також маємо позитивну тенденцію: 3,6 млн т (по структурі: кукурудза - 66%, пшениця - 31%, ячмінь — 2%), зростання до показника попереднього місяця - 5% [5]. Динаміка експорту Україною основних агропродуктів за останні місяці (тис. т) (листопад 2024 – березень 2025 року) наведено на рисунку 1.4.

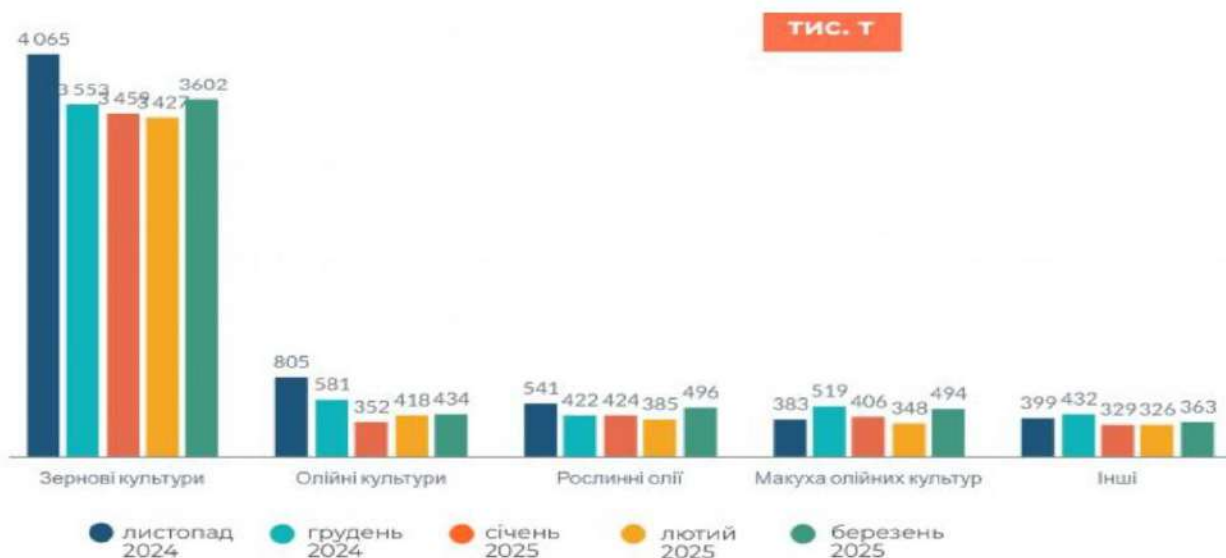


Рисунок 1.4 Динаміка експорту Україною основних видів агропродуктів за період листопад 2024 – березень 2025 року (тис. т)

1.2 Транспортування зернових вантажів АТ «Укрзалізниця»

Залізничний транспорт традиційно відіграє ключову роль у дорожньо-транспортній системі України, забезпечуючи близько 82% вантажних та 36% пасажирських перевезень серед усіх видів транспорту. На сьогодні експлуатаційна протяжність залізничних колій в Україні (без урахування

тимчасово окупованих територій, де мережа наразі фактично не функціонує) становить 19,8 тис. км. Із них 9,9 тис. км, або 47,2%, електрифіковано [6].

Ключовим підприємством у сфері залізничного транспорту є акціонерне товариство «Укрзалізниця» (АТ «Українська залізниця»), яке виконує централізоване управління перевізним процесом як у внутрішньому, так і в міжнародному сполученні. Крім того, компанія координує виробничо-господарську діяльність усієї залізничної інфраструктури країни.

До структури АТ «Укрзалізниця» входять шість регіональних філій: Львівська, Донецька, Одеська, Південна, Південно-Західна та Придніпровська залізниці. Крім того, до складу компанії належать інші підприємства виробничо-технологічного комплексу, які забезпечують здійснення вантажних і пасажирських перевезень.

За останні 5 років суттєвих змін зазнали обсяги перевезення вантажів залізницею, що обумовлено перш за все впливом широкомасштабної агресії російської федерації (в передвоєнному 2021 році було транспортовано 314 млн т, у 2022 році відбулося падіння до 151 млн т та у 2023 році – до 147 млн т з нарощуванням до 175 млн т у 2024 році (рисунок 1.5).

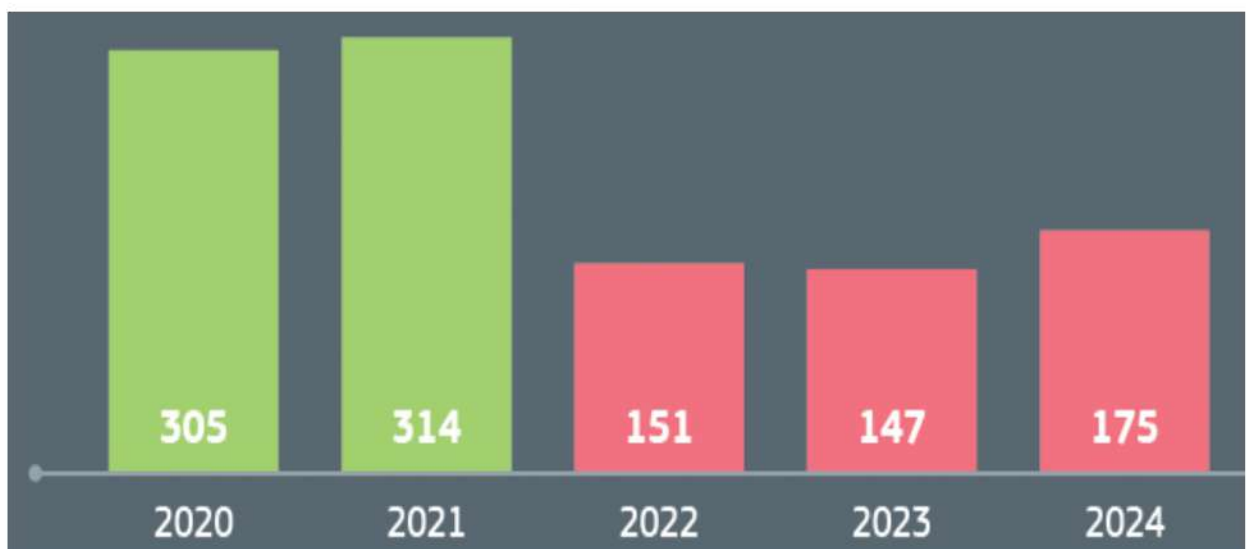


Рисунок 1.5 Обсяги перевезень вантажів залізничним транспортом України за 2020-2024 роки (млн т)

За обсягами перевезень експортні перевезення перевищують внутрішні. Дані за 2024 рік по напрямках перевезень та структурі експортних перевезень наведені на рисунку 1.6. По структурі експорту зерно і руда мають майже однакові значення - 40% і 39% відповідно.

До 2022 року близько 65% обсягів перевезення зернових культур в Україні здійснювалося залізничним транспортом, а для експорту через морські порти цей показник перевищував 70% [7]. Понад 80% лінійних елеваторів оснащені інфраструктурою для завантаження залізничних вагонів, тоді як серед «польових» елеваторів така можливість є лише приблизно у 15% випадків [24].

Обсяги перевезення зернових АТ «Укрзалізниця» за 2024 рік склали 39,7 млн т (22,7% загальних обсягів), поступаючись лише перевезенням руди залізної і зросли на 30% в порівнянні з 2023 роком [8] (рисунк 1.7).

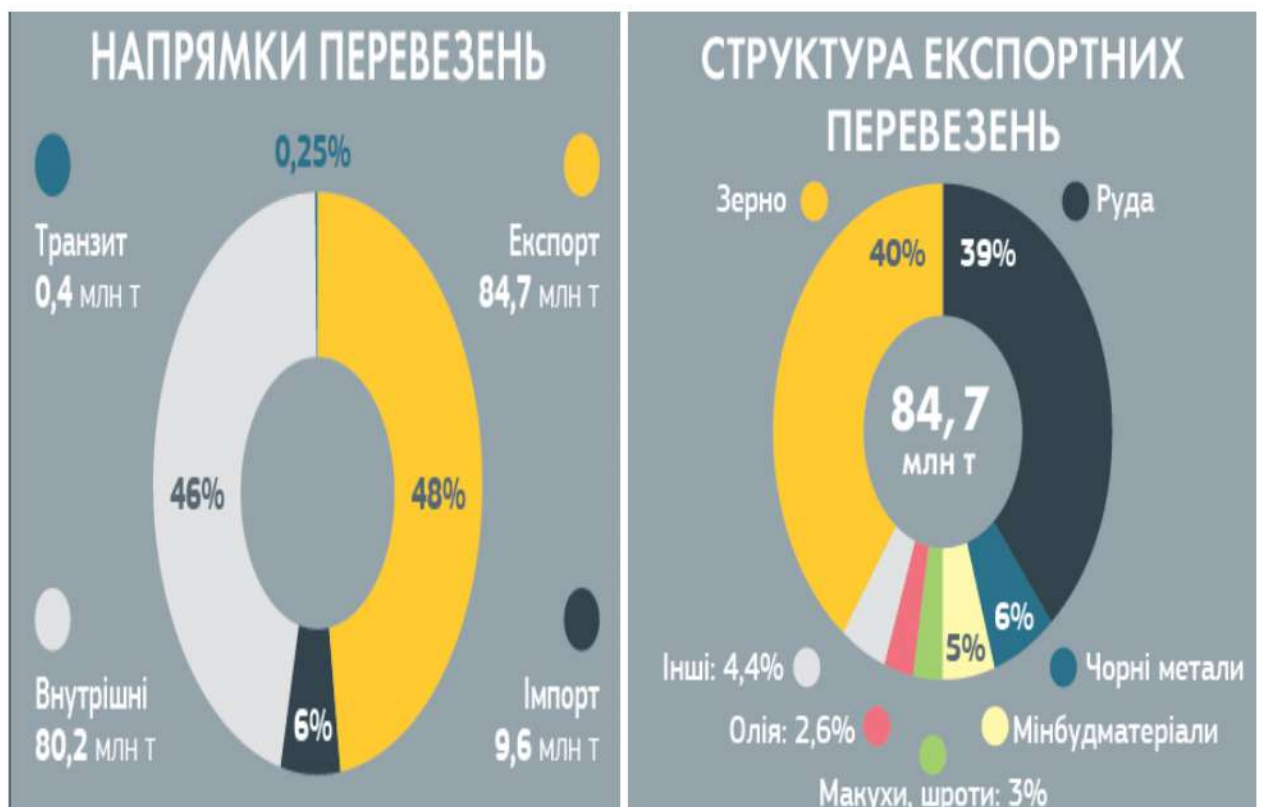


Рисунок 1.6 Напрямки вантажних перевезень та структура експортних перевезень АТ «Укрзалізниця» за 2024 рік

	Руда	43,4	▲ +58%
	Зерно	39,7	▲ +30%
	Мінбудматеріали	30,3	▲ +2,5%
	Вугілля	23,3	▼ -11%
	Чорні метали	8,9	▲ +9%
	Нафта і нафтопродукти	4,7	▼ -13%

Рисунок 1.7 Перевезення основних вантажів залізницею у 2024 році (в млн т) та динаміка до 2023 року

На початку збройної агресії близько третини підприємств були змушені призупинити свою діяльність. Серед основних причин — руйнування виробничих об'єктів та інфраструктури, окупація окремих регіонів, високий рівень невизначеності й ризиків, розрив логістичних та виробничих ланцюгів, а також масова вимушена міграція населення. Попри складну ситуацію, економіка та обсяги перевезень поступово почали відновлюватися після початкового етапу агресії [8].

У 2022 році у внутрішньому сполученні було перевезено 5,8 млн т зерна, що становило 8% від загального обсягу внутрішніх перевезень, який сягнув 76,1 млн т. За цим показником зерно посіло четверте місце серед усіх категорій вантажів, що транспортувалися в межах країни [8].

У 2022 році обсяги експортних перевезень становили 59,4 млн т, що склало 39,5% від загального обсягу перевезень. Це на 52,9 млн т, або 47,1%, менше порівняно з 2021 роком. З початком повномасштабної агресії відбулися суттєві зміни в експортній логістиці: було припинено транспортне сполучення

з Російською Федерацією та Білоруссю, а після блокади українських морських портів — через які у 2021 році здійснювалося понад 70% експортних перевезень (79,5 млн т) [4] — основні вантажопотоки було переорієнтовано на західні прикордонні переходи. У цьому напрямку в 2022 році було експортовано 32 млн т, що на 10 млн т більше, ніж у попередньому році. Водночас інфраструктура Європейського Союзу не мала достатньої пропускної спроможності для забезпечення необхідних обсягів українського експорту.

Із запуском «зернової ініціативи» 1 серпня 2022 року було відновлено експорт зерна через порти Великої Одеси. За п'ять місяців роботи (серпень – грудень) у напрямку цих портів залізничним транспортом було доставлено 7,7 млн т зернових вантажів [4]. Однак повноцінне використання потенціалу зернового коридору стримувалося штучними обмеженнями з боку Російської Федерації. Незважаючи на ці труднощі, зернові вантажі залишалися основною категорією в структурі експортних перевезень у 2022 році — їхній обсяг склав 22,55 млн тонн, що становить 38% усіх експортних перевезень [8].

У структурі імпорتنих перевезень залізничним транспортом зернові культури практично не фігурують. Натомість у транзитних перевезеннях через територію України у 2022 році було транспортовано 475 тис. тонн зернових, що становило 18% від загального обсягу транзиту [8].

98% обсягів експорту зерновантажів у 2021 році вивозилось через порти. За 2022 рік загалом через порти транспортовано лише 63% експорту [4], проте в 2023 році цей показник піднявся до 78%, а в 2024 – до 88%.

У 2022 році структура залізничних перевезень зерна за видами сполучень розподілилася наступним чином: експорт становив 22,55 млн т (78%), внутрішні перевезення — 5,758 млн т (20%), а транзит — 0,475 млн т (2%) [8]. Детальна структура експорту зернових за станціями виходу за цей рік представлена на рисунку 1.8.

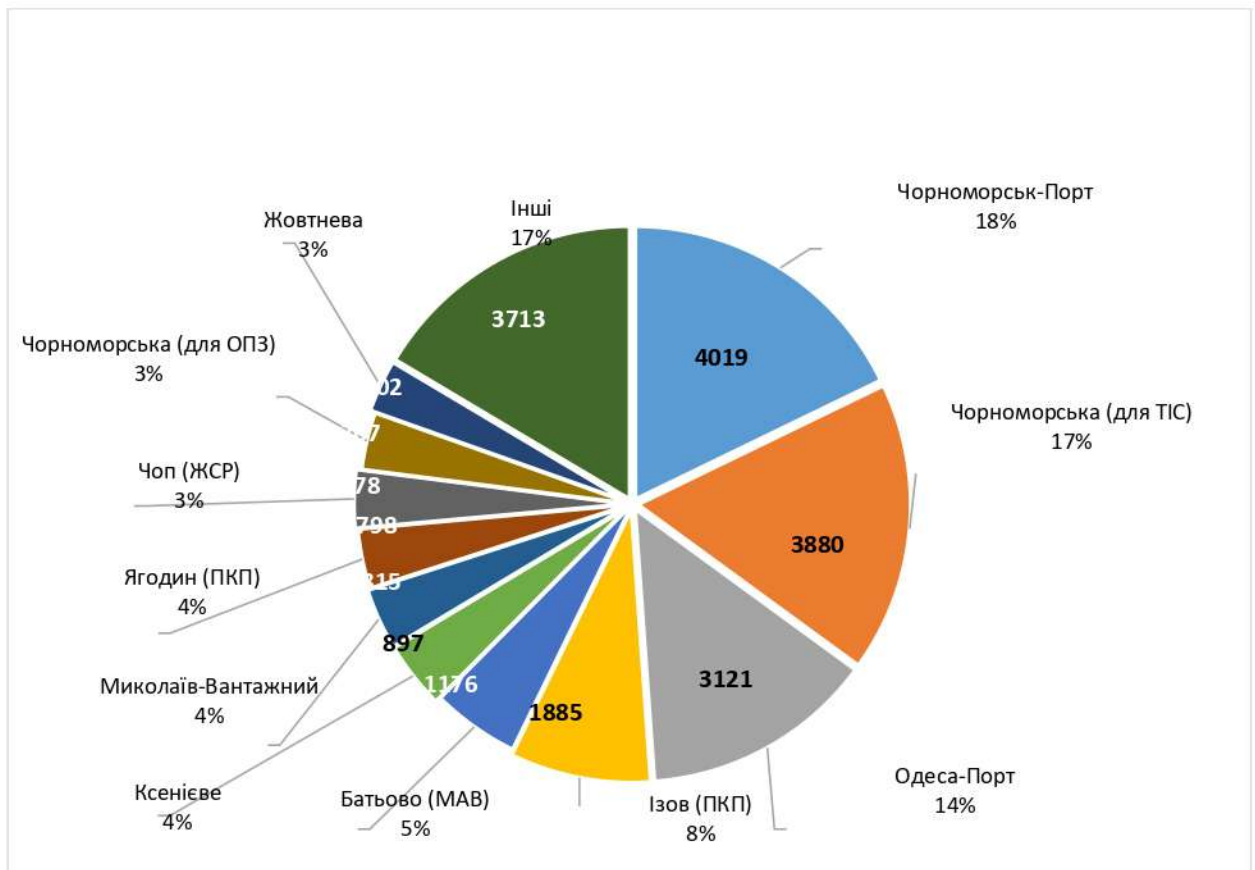


Рисунок 1.8 Структура експорту зерновантажів за станціями виходу протягом 2022 року (тис. т)

У 2022 році серед найбільших відправників зерна залізничним транспортом (через АТ «Укрзалізниця») лідирувало ТОВ «КЕРНЕЛ-ТРЕЙД» з обсягом 2 732 тис. т. Далі за обсягами слідували: ТОВ «ПРОМВАГОНТРАНС» — 1 984 тис. т, ТОВ «ТЕП Транско» — 1 491 тис. т, ТОВ «ГРЕЙНСВАРД» — 1 471 тис. т, ТОВ СП «НІБУЛОН» — 1 098 тис. т та ТОВ «УТЛ-2» — 1 036 тис. т [8].

Хоча зернові вантажі формуються по всій території України, лише близько 500 залізничних станцій мають відповідну інфраструктуру для їх завантаження. Сумарний добовий потенціал цих станцій перевищує 19 000 вагонів. Водночас ефективність використання цього потенціалу є нерівномірним: 35% станцій у середньому відвантажують менше ніж 5 вагонів на добу, а 82% — менше ніж 10 вагонів. Найбільші зернові станції вантаження у 2024 році наведено в таблиці 1.2.

Помісячні дані дозволяють більш детально розглядати тенденції в експорті зернових вантажів та виявляти чинники впливу на ситуацію для подальшого оперативного коригування.

Таблиця 2.2 – Обсяги експорту зерна з України за 2024 рік в розрізі видів транспорту та прикордонних переходів (сухопутні, водні) (тис. т)

Мі- сяць	Заліз- ниця	Авто- транс- порт	Сума сухо- путні пере- ходи	% сухо- путні пере- ходи	Порти	По- роми	Сума водні пере- ходи	% водні пере- ходи	Зага- лом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	685,7	139,9	825,6	13,1%	5485,3	0	5485,3	86,9%	6310,9
2	733,9	153,7	887,6	12,1%	6381	69,8	6450,8	87,9%	7338,4
3	651,9	137	788,9	11,3%	6111,1	91,9	6203	88,7%	6991,9
4	610,4	121,2	731,6	10,2%	6408	66,1	6474,1	89,8%	7205,7
5	599,5	126,4	725,9	10,8%	5930,3	58,2	5988,5	89,2%	6714,4
6	579,8	128	707,8	14,2%	4281,3	0	4281,3	85,8%	4989,1
7	475,4	146,3	621,7	12,8%	4248,3	0	4248,3	87,2%	4870
8	478,2	112,2	590,4	12,5%	4133,7	0	4133,7	87,5%	4724,1
9	461	117,1	578,1	12,6%	4012,8	0	4012,8	87,4%	4590,9
10	515	142,4	657,4	11,0%	5307,1	0	5307,1	89,0%	5964,5
11	462,2	109,8	572	10,5%	4868,9	0	4868,9	89,5%	5440,9
12	399,6	66,6	466,2	10,0%	4178,4	0	4178,4	90,0%	4644,6
Всьо- го	6652,6	1500,6	8153,2	11,7%	61346,2	286	61632,2	88,3%	69785,4

Для наочності представлених даних розглянемо динаміку помісячних показників на відповідних графіках. На рисунку 2.3 наведені помісячні обсяги експорту зернових вантажів з України за 2023 та 2024 роки залізничним транспортом через західні сухопутні прикордонні переходи, а на рисунку 2.4

– такі ж дані для сухопутних магістральних видів транспорту (сумарно залізничний + автомобільний транспорт).

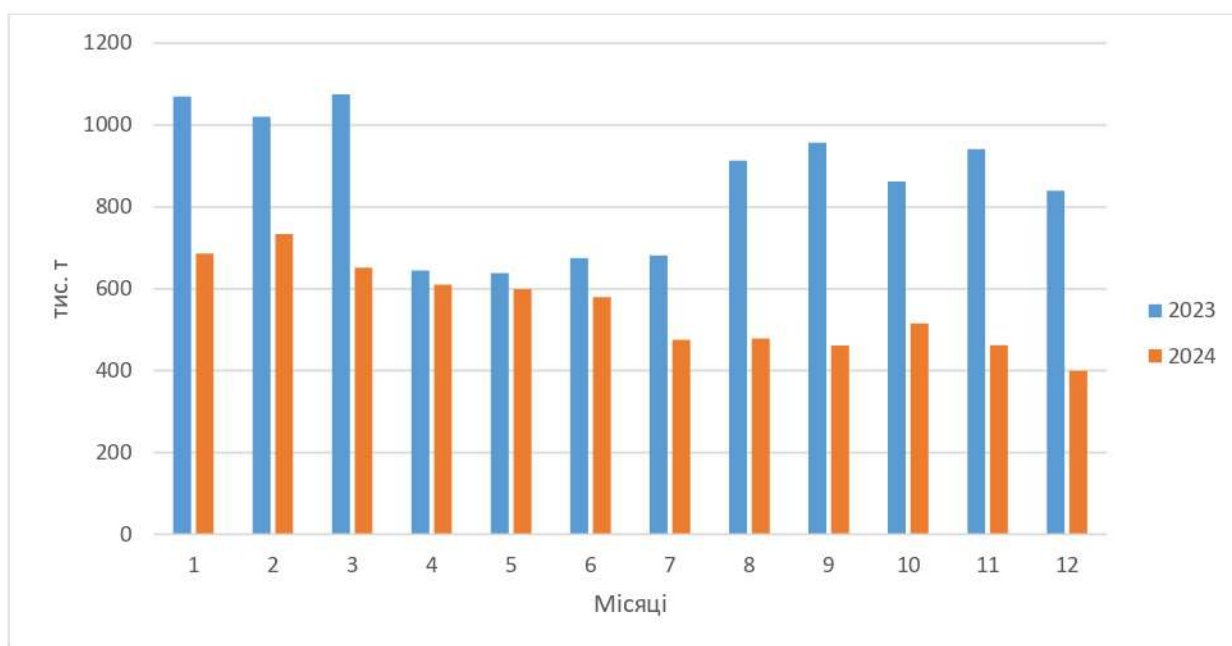


Рисунок 2.3 Помісячні обсяги експорту зерна з України за 2023 і 2024 роки залізницею через західні сухопутні прикордонні переходи

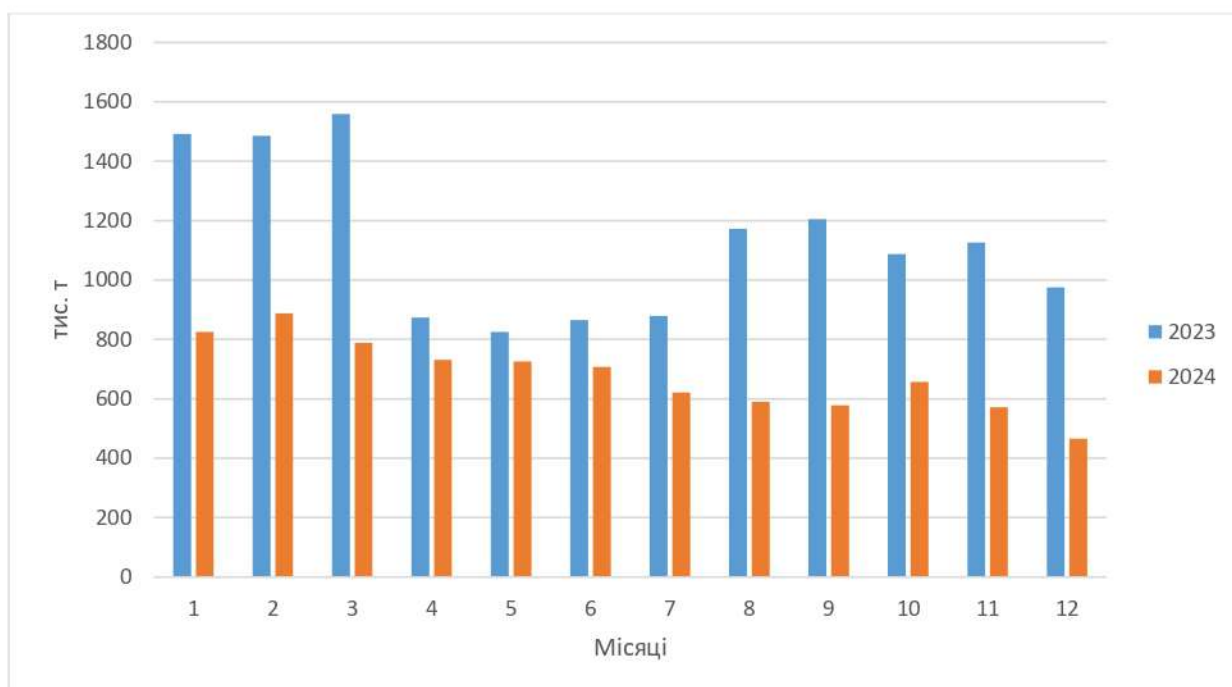


Рисунок 2.4 Помісячні обсяги експорту зерна з України за 2023 і 2024 роки (сумарно залізницею та автотранспортом) через західні сухопутні прикордонні переходи

Наведені на рисунку 2.3 дані свідчать про значні помісячні коливання обсягів перевезення залізницею зерна на експорт через сухопутні переходи за розглянуті два роки із загальною чітко вираженою тенденцією до зниження. За 2023 рік виділяється три періоди стабільності: три перші місяці (I квартал) з максимальними обсягами перевезення (більше 1 млн т щомісячно); з 4 по 7 місяці з мінімальними обсягами перевезення у 2023 році (близько 650 тис. т); з 8 місяця і до кінця року – з середніми обсягами перевезення (близько 900 тис. т) з незначною тенденцією до зниження. Дані за 2024 рік свідчать про чітко виражену тенденцію до зниження обсягів перевезення залізницею (з 686 тис. т у січні (з незначним сплеском у лютому) до 400 тис. т у грудні. За розглянуті два роки частка залізничного транспорту в експортному перевезенні зерна знизилась з 16,7% у 2023 році до 9,5% у 2024 році. Така ж тенденція мала продовження і на початку 2025 року: в січні частка склала 7,5%, а в лютому – 6,7%.

Подібним чином відображаються дані (на рисунку 2.4) і стосовно магістральних сухопутних видів транспорту (сумарно залізничний + автомобільний). Автотранспорт має значно менші обсяги таких перевезень та яскраво виражену тенденцію до зниження обсягів перевезення (на початку 2023 року щомісячні перевезення були на рівні 450 тис. т, в кінці 2024 року знизились до 100 і менше тис. т за місяць). За розглянуті роки частка автотранспорту в експортному перевезенні зерна знизилась з 5,3% у 2023 році до 2,2% у 2024 році. Така ж тенденція мала продовження і на початку 2025 року: в січні частка склала 1,7%, а в лютому дещо зросла – до 2,0%. Загальний експорт зерна через сухопутні переходи (залізниця+автотранспорт) зменшився з 1,5 млн т на початку 2023 року до 500 і менше тис. т в кінці 2024 року (тобто в 3 рази). Через сухопутні переходи у 2023 році було переміщено 22,0% експортного зерна, а за 2024 рік – лише 11,7%. Подальше зниження частки сухопутного експорту зерна продовжилось і на початку 2025 року: в січні – 9,2%, в лютому – 8,7%.

Помісячні обсяги експорту зерна з виділенням сухопутних та водних переходів за 2023 та 2024 роки наведені на рисунку 2.5.

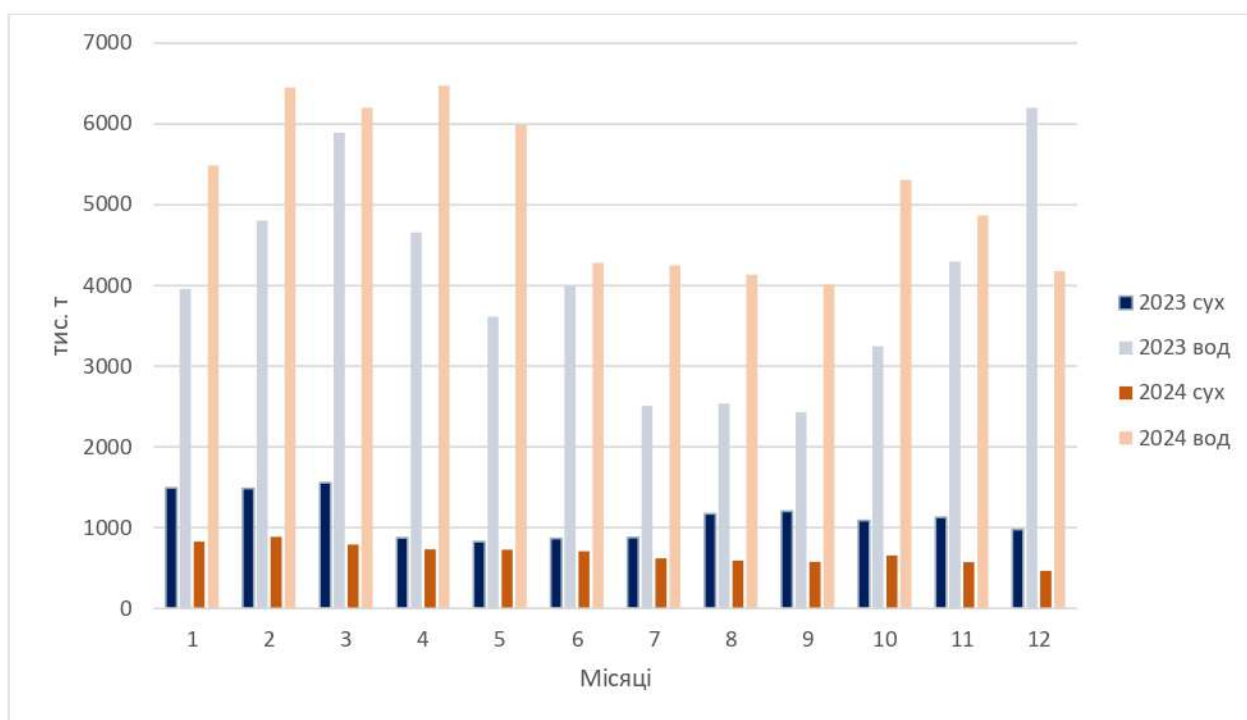


Рисунок 2.5 Помісячні обсяги експорту зерна з України з виділенням сухопутних та водних переходів за 2023 та 2024 роки

Як бачимо, експорт через водні пункти переходу значно (в рази) перевищують обсяги через сухопутні переходи та мав різний характер у 2023 та 2024 роках. В I кварталі 2023 року мали стабільне зростання з 4 млн т за січень до майже 6 млн т у березні. В подальшому відбулося зниження з 4,6 млн т у квітні до мінімальних значень у липні-вересні (близько 2,5 млн т щомісячно). В ІІІ кварталі 2023 року мало місце стабільне зростання обсягів з 3,2 млн т у жовтні до 6,2 млн т у грудні (майже в 2 рази). На початку 2024 року після незначного спаду у січні (5,5 млн т) виділяється ділянка максимальної роботи водних переходів з лютого по травень (з обсягами переробки близько 4 млн т щомісячно). В ІІІ кварталі після зростання переробки у жовтні до 5,3 млн т почалося стабільне зниження обсягів до 4,2 млн т у грудні.

За розглянуті роки (2023 та 2024) відбулось повернення до відсоткового рівня експорту зерна через водні пункти переходу практично до довоєнного рівня. Якщо у 2023 році водними шляхами було експортовано 78,0% зерна, то в 2024 - 88,3%. На початку 2025 року цей показник перевищив уже 90%: за січень – 90,8%, за лютий – 91,3%.

На рисунку 2.6 представлені загальні помісячні обсяги експорту зерна всіма видами магістрального транспорту за 2023 та 2024 роки.

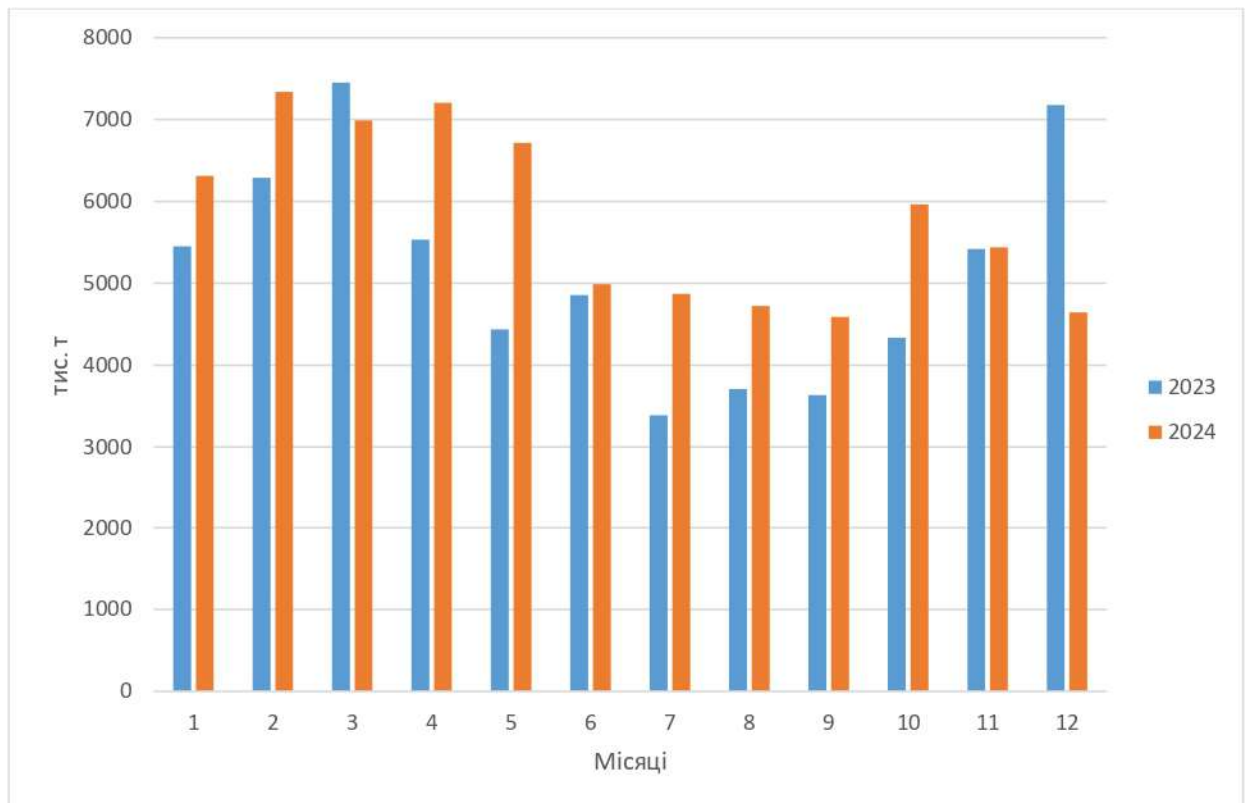


Рисунок 2.6 Загальні помісячні обсяги експорту зерна з України всіма видами транспорту за 2023 та 2024 роки

Характер діаграм на цьому рисунку в цілому відображає тенденції зміни обсягів перевезень водними шляхами зважаючи, що на них приходилось від 78,0% до 88,3% загального обсягу експорту зерна. Зазначимо лише екстремальні помісячні значення по роках: у 2023 році мінімальне значення (3,4 млн т) зафіксовано в липні, максимальні – 7,45 млн т у лютому та 7,2 млн т у грудні; у 2024 році мінімальне значення (4,5 млн т) зафіксовано у вересні,

максимальні – 7,3 млн т у лютому та 7,2 млн т у квітні. Слід звернути особливу увагу на ІУ квартал 2024 року, за який маємо суттєве зниження обсягів переробки, що є дисонансом на тлі суттєвого зростання обсягів у ІУ кварталі 2023 року.

Зміну помісячної частки сухопутних видів транспорту в експортних перевезеннях зерна з України за 2023 та 2024 роки наведено на рисунку 2.7.

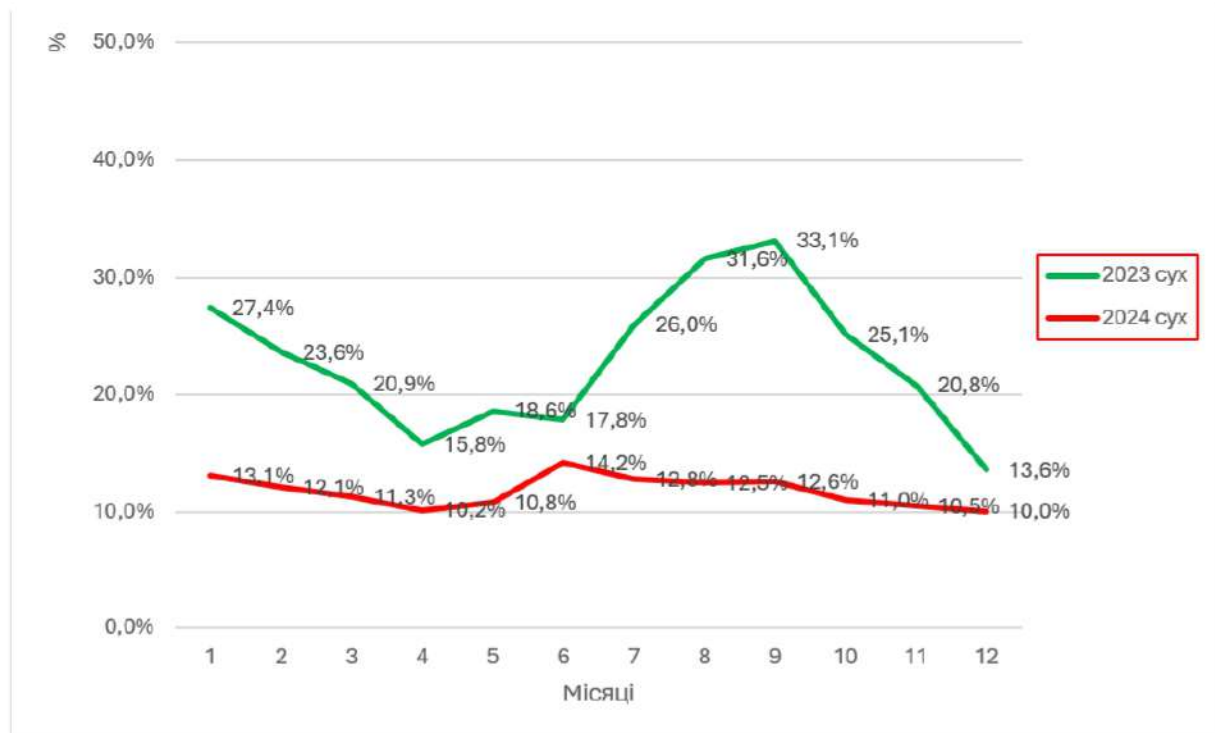


Рисунок 2.7 Частка сухопутних видів транспорту в загальних експортних перевезеннях зерна з України за 2023-2024 роки

У грудні 2024 року експорт зерна з України зіткнувся з серйозними труднощами. Із-за нової системи реєстрації податкових накладних понад 700 тис. т зерна застрягли в портах. Є певна складність, з якою стикнулись всі великі експортери: практично у кожного на кінець року вичерпаний лімітний розрахунок на реєстрацію податкових накладних. Він розраховується на основі спеціальної формули. Ці ліміти контролює податкова служба, а вона не надає підприємствам інформацію про їх ліміти. З січня 2025 року ситуація покращилася — ліміти підняті, і проблем з резервуванням не має.

Деякі компанії, що раніше працювали в тіні, наразі стикаються з певними складнощами. Вони не в змозі виконувати свої зобов'язання з експорту, отже додаткового потоку товару на ринок не спостерігається. Таким чином, можемо оцінити недоекспорт зерна від 500 тис. до 1 млн т за грудень 2024 року.

Для фермерів важливо мати попит на своє зерно. Натомість всі обмеження, навіть коли вони введені під благими намірами, можуть принести певну шкоду. Плюс є корупційні ризики. Якби, наприклад, у Європі була краща ситуація з кукурудзою, фермери України уже б мали проблеми з попитом на зерно. Якщо ціни впадуть, тоді вже і побачимо, чи в змозі великі компанії забезпечити такий попит, як раніше.

Конкуренція наразі — це добре, проте вона виникла через неефективну логістику в умовах війни. Коли ж логістика була 100-150 дол. США за тонну, то з'явилася конкуренція між середніми трейдерами. Насправді ж компанії з власними терміналами, з дешевшими витратами на перевалку і логістику, будуть ефективнішими. Трейдери без таких активів насправді менш конкурентоспроможні, нормальний процес, який має місце і у інших країнах.

2.2 Дослідження ефективності маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів

За своєю структурою маршрути з місць вантаження на залізниці розподіляються: на відправницькі й ступеневі [18].

Ступінчастий маршрут формується на основі поетапного приєднання вагонів від різних вантажовідправників на одній або декількох суміжних станціях, розташованих в межах однієї або двох ділянок залізничної мережі. Схематичне зображення організації маршруту ступінчастого типу для зернових вантажів наведено на рисунку 2.8

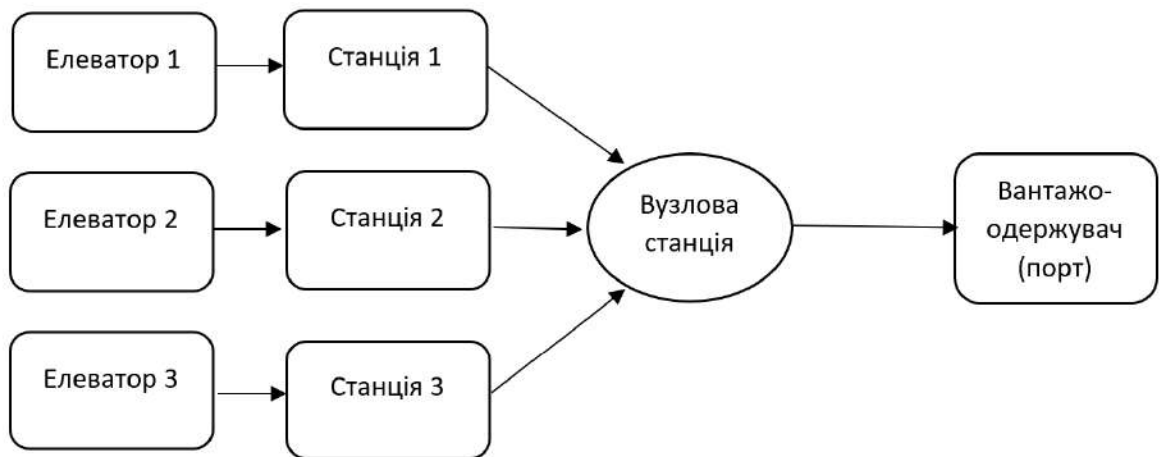


Рисунок 2.8 Схематична організація маршруту ступінчастого типу

На даний момент рівень маршрутизації вантажних перевезень в Україні перебуває на рівні 40–45%, що є нижчим порівняно з країнами Європейського Союзу, де він коливається в межах 50–55%, та значно поступається показникам США, де рівень маршрутизації перевищує 60%.

Що стосується маршрутизації перевезень зернових вантажів, ситуація ще більш критична: в Україні цей показник становить лише 25–30%, тоді як у США він досягає 95%. Це свідчить про значний потенціал для вдосконалення організації перевезень зернових шляхом впровадження сучасних логістичних підходів, зокрема — концентрації вантажних потоків та підвищення частки маршрутних відправок [19].

Така суттєва відмінність у рівні маршрутизації перевезень зернових вантажів між Україною та США зумовлена, зокрема, меншою середньою відстанню перевезення зерна в Україні. Вітчизняна практика свідчить, що середня відстань перевезення зернових складає приблизно 600 км, тоді як у США цей показник є суттєво вищим [4].

Однак слід зазначити, що починаючи з 2017 року керівництво АТ «Укрзалізниця» розпочало активну політику щодо підвищення рівня маршрутизації при транспортуванні зернових вантажів [19].

В Україні в цілому сформовано достатній парк вагонів-зерновозів для забезпечення потреб з перевезення зернових вантажів. Загальний робочий

парк нараховує близько 25,5 тис. вагонів, із яких приблизно 7 тис. належить АТ «Укрзалізниця», а 18,5 тис. – це приватні вагони [15]. З метою підвищення ефективності експлуатації рухомого складу та зменшення навантаження на інфраструктуру, АТ «Укрзалізниця» активно застосовує технічну маршрутизацію – зокрема, у сегменті транспортування зернових вантажів. Цей метод полягає у штучному об'єднанні окремих вагонів у маршрути на технічних станціях, навіть якщо вони надійшли з різних напрямків або від різних вантажовідправників. Водночас, технічна маршрутизація має низку суттєвих недоліків, що обмежують її ефективність:

- потреба у функціонуванні значної кількості дрібних вантажних станцій та елеваторів, які не завжди мають відповідну інфраструктуру;
- ускладнення контролю якості зерна, особливо в умовах змішування партій різних відправників;
- підвищене використання маневрових локомотивів, необхідних для обслуговування багатьох дрібних станцій, що призводить до додаткових витрат;
- збільшення часу простою вагонів на технічних станціях у процесі накопичення та формування повноцінних маршрутів [19].

У сукупності ці чинники знижують загальну ефективність перевезень і вимагають подальшого удосконалення логістичних рішень, зокрема, з переходом до більш розвиненої системи комерційної маршрутизації, яка базується на попередньому плануванні і погоджених схемах формування маршрутів.

Наразі відправницька маршрутизація упроваджується відповідно до «Інструктивних вказівок по організації вагонопотоків на залізницях України» [20], за яких для включення у план маршрутизації конкретного виду вантажу, необхідно виконання умови, за якою економія в дорозі прямування $\Delta E_{\text{ек}}^{\text{рух}}$ повинна бути більше аніж додаткові витрати на організацію маршрутів у порівнянні з немаршрутним відправленням на станції вантаження $\Delta E_{\text{м}}$ та, якщо маршрути прямі, також і на станції вивантаження $\Delta E_{\text{в}}$;

$$\Delta E_{\text{ек}}^{\text{пyx}} \geq \Delta E_{\text{м}} + \Delta E_{\text{в}} \quad (2.1)$$

Сумарна економія у дорозі прямування визначається за формулою:

$$\Delta E_{\text{ек}}^{\text{пyx}} = (\sum t_{\text{ек}} + t_{\text{ек}}^{\text{дн}} + t_{\text{ек}}^{\text{дв}}) * N e_{\text{нн}} + N e_{\text{нн}}^{\text{cp}} \sum r, \quad (2.2)$$

де $\sum t_{\text{ек}}$ – економія приведених вагоно-годин за час проходження маршруту через визначені станції залізничні без переробки вагонів, год;

$t_{\text{ек}}^{\text{дн}}$ – економія часу на ділянці вантаження, якщо станція навантаження проміжна, год;

$t_{\text{ек}}^{\text{дв}}$ – економія часу на ділянці розвантаження, якщо станція вивантаження проміжна й маршрут прямий, год;

N – кількість вагонів у маршруті, ваг;

$e_{\text{нн}}$ – витратна ставка вантаженої вагоно-години, що обумовлена із врахуванням виду вантажу, грн.;

$e_{\text{нн}}^{\text{cp}}$ – середньомережна ставка витратна вагоно-годин, грн.;

$\sum r$ – сумарний еквівалент переробки вагонів й перечеплення локомотивів на всіх станціях, які маршрут прослідуює без переробки, ваг-год.

А додаткові витрати на станціях вантаження та вивантаження маршруту визначаються із виразів:

$$\Delta E_{\text{м}} = \Delta t_{\text{н}} + N e_{\text{нн}}^{\text{cp}} \quad \Delta E_{\text{в}} = \Delta t_{\text{в}} + N e_{\text{нн}}^{\text{cp}} \quad (2.3)$$

де $\Delta t_{\text{н}}, \Delta t_{\text{в}}$ - відповідно додаткові простой на станціях навантаження і вивантаження в порівнянні із вагонною організацією вагонопотоків, год.

Система тарифікації вантажних перевезень залізничним транспортом не дає жодних знижок при формуванні і відправленні маршрутів [21]. Економія при відправленні вантажів прямими маршрутними відправками досягається за

Таблиця 1.2 – Найбільші станції завантаження зерна за 2024 рік

Станція	Область	Регіональна філія	Вантаження		Елеватори	
			ваг.	т.	шт.	тис. т
Прилуки	Полтавська	Південна	7305	467 129	4	300
Балин	Хмельницька	Південно-Західна	6432	411 617	2	185
Миргород	Полтавська	Південна	5807	371 624	4	333
Сула	Полтавська	Південна	5434	347 765	2	476
Торопилівка	Сумська	Південна	4854	310 656	1	488

Зернові вантажі, що надходять до морських портів залізничним транспортом, обробляються на припортових станціях. В Україні налічується 40 таких станцій, з яких 34 спеціалізуються на обробці експортних партій, призначених для подальшого відвантаження через морські порти [16].

Розглянемо детальніше переваги та недоліки залізничних перевезень зернових вантажів. Однією з головних переваг є нижча вартість доставки однієї тонни вантажу для відправника порівняно з автотранспортом. Додатковими перевагами виступають висока пропускна здатність залізничної інфраструктури, відносна незалежність від погодних умов (за винятком екстремальних ситуацій, таких як сильні повені чи снігові замети), здатність до перевезення великотоннажних партій вантажу, а також енергонезалежність від імпортованих нафтопродуктів. Зокрема, близько 90% перевезень, у тому числі до портів Одеського регіону, здійснюються електровозами, які працюють на електроенергії, виробленій вітчизняними електростанціями.

До основних недоліків залізничних вантажоперевезень можна віднести порівняно нижчу швидкість доставки у порівнянні з автомобільним транспортом. Також мають місце складнощі у тарифоутворенні [17], що ускладнює планування логістики. При транспортуванні зерна до країн Європи виникає потреба у заміні візків на вузьку колію або перевантаженні вантажу, що уповільнює процес. До інших проблем належать труднощі з будівництвом

під'їзних колій до підприємств-замовників, ризик крадіжок під час зупинок на станціях, а також обмежена можливість забезпечення повноцінної доставки за принципом «від дверей до дверей».

1.3 Аналіз публікацій по проблематиці транспортування зернових вантажів залізницями

Питання доставки та перевезення зернових вантажів, зокрема залізничним транспортом, є предметом активного наукового дослідження. Різні аспекти цієї теми висвітлюються у працях як вітчизняних, так і зарубіжних науковців та фахівців-практиків. Серед авторів, які зробили вагомий внесок у розвиток цієї галузі, можна відзначити: Бауліну Г.С., Богомазову Г.Є., Зайцева А.А., Вернигору Р.В., Запару В.М., Запару Я.В., Колеснікову Н.М., Кожевнікова Ю.Н., Крейніна А.В., Мазо Л.А., Ломотька Д.В., Нагорного Є.В., Пасічника В.І., Окорокова А.М., Сахна В.П., Третьяка В.П., Цупрова П.С., Цегельника М.Л., Чорного В.В., Черниш Н.Ю., Шарая С.М., а також іноземних дослідників — A. Dolinayová, L. Černá, Z. Hřebíček, V. Zitrický та інших.

Так, у дослідженні [9] проаналізовано можливості розв'язання задач маршрутизації мультимодальних вантажоперевезень, які можуть здійснюватися із залученням різних видів транспорту. Для цього запропоновано використання змішаного підходу до прийняття рішень на основі багатокритеріального аналізу з застосуванням штучних нейронних мереж.

У науковій роботі [10] проаналізовано сучасний стан організації перевезень зернових культур та окреслено основні тенденції розвитку зернового ринку. Дослідники визначили ключові чинники, що сприяють зростанню обігу вагонів-зерновозів та одночасному зниженню їх продуктивності. В рамках дослідження було запропоновано стохастичну

модель формування ступінчастих маршрутів із зерновими вантажами, яка враховує ймовірнісний характер простоїв вагонів на станції формування та дозволяє розраховувати оптимальну кількість вагонів у складі маршрутного поїзда.

У статті [11] представлено модель і сформульовано основні принципи формування відправлень та організації руху зернових вантажів. Автори окреслили ключові тенденції розвитку ринку зерна та визначили основні чинники, які дозволяють здійснювати короткострокове прогнозування напрямів перевезень. Також реалізовано модель побудови ступінчастого маршруту з урахуванням технічних можливостей тягового обладнання на дільниці, а також обґрунтовано підхід до розподілу рухомого складу в умовах реформування транспортної галузі.

У дослідженні [12] проаналізовано структуру тарифів на вантажні перевезення, зокрема зернових культур. Проведено порівняльний аналіз базових тарифів при використанні локомотивів різних форм власності у вантажних, порожніх та повних рейсах у вагонах вантажовласників у межах експерименту з упровадження приватної тяги на українській залізниці. У роботі запропоновано критерій оцінки ефективності впровадження приватної тяги в умовах чинної системи тарифоутворення, а також наведено оцінку її ефективності залежно від відстані перевезення та кількості вагонів у складі поїзда.

У сучасних дослідженнях зарубіжних вчених [13] представлено методологію формування тарифів на перевезення зернових залізничним транспортом, яка враховує специфічні технічні й технологічні вимоги до транспорту та відповідні витрати. Запропонований підхід в певній мірі узгоджується з напрацюваннями вітчизняних дослідників. Методологія передбачає застосування науково обґрунтованих процедур для розробки ефективної системи залізничного фрахту. У дослідженні використано методи аналізу попиту, оцінки ролі персоналу, ідентифікації рухомого складу, обчислення вартості перевезення та тарифних ставок, технології

індивідуальних відправлень, формування прайс-листів і встановлення тарифів на транспортні послуги.

У розглянутих наукових працях детально проаналізовано основні завдання дослідження, проте питання економічної доцільності концентрації та організації маршрутних перевезень зернових вантажів у реальних умовах, зокрема на прикладі регіональної філії «Південна залізниця», досі не знайшло повного вирішення. Проведений аналіз наукових публікацій створює необхідне підґрунтя для розробки нових підходів до маршрутних перевезень зернових та оцінки їх порівняльної вартості. Це особливо важливо з огляду на сучасні тенденції до зростання обсягів виробництва зерна в Україні та потребу в оптимізації логістичних рішень.

Питання тарифоутворення на залізничні вантажні перевезення є предметом активного наукового обговорення як в Україні, так і за її межами. Цій темі присвячено велику кількість наукових праць вітчизняних і зарубіжних дослідників та практиків. Серед авторів, які зробили вагомий внесок у вивчення даного питання, можна виділити: Вернигору Р.В., Єфанова А.Н., Зайцева А.А., Запару В.М., Колесникову Н.М., Крейніна А.В., Левицького І.Є., Ломотька Д.В., Нагорного Є.В., Огорокова А.М., Пасічника В.І., Цегельника М.Л., Цупрова П.С., Черниш Н.Ю., Чорного В.В., а також іноземних науковців — V. Zitrický, L. Černá, A. Dolinayová, Z. Hřebíček та інших [12,14].

Висновок. 1 Зазначено, що Україна є аграрною країною, де зернова галузь займає провідне місце в структурі національної економіки. Вона виступає основою аграрного експорту та є ключовим джерелом розвитку багатьох секторів агропромислового комплексу. Зернове виробництво суттєво впливає на формування валютних надходжень до бюджету держави (наприклад, у 2022 році його частка в експорті склала 45%), а також забезпечує значну частку доходів сільськогосподарських виробників. Крім того, дана галузь виконує важливу функцію у регулюванні обсягів пропозиції й цін на

основні види продовольства для населення, водночас впливаючи на стан та динаміку розвитку сільських територій.

2 Доведено, що якраз залізничний транспорт є основним видом транспорту для перевезення зернових в Україні, забезпечуючи близько 70% від загального обсягу таких перевезень. Водночас варто враховувати активну конкуренцію з боку альтернативних видів транспорту, передусім автомобільного, який також користується значним попитом серед вантажовідправників. У разі сприятливих умов, автомобільний транспорт здатен оперативно зайняти істотну частку ринку перевезень зернових вантажів.

3 Проаналізовано наукові напрацювання вітчизняних і закордонних дослідників щодо вдосконалення вантажної та комерційної роботи при перевезенні зернових вантажів. Установлено, що питання економічної ефективності концентрації вантажопотоків і формування маршрутних перевезень зернових у конкретних умовах, зокрема в межах діяльності регіональної філії «Південна залізниця», поки що не отримало вичерпного наукового вирішення.

2 Дослідження динаміки експорту зерна з України в умовах військового стану і ефективності маршрутизації зернових вантажів

2.1 Дослідження динаміки експорту зернових вантажів з України під час військового стану

За 2024 рік економіка України помірно зростала (реальний ВВП країни зріс на 2,9% і склав 7,66 трлн грн), незважаючи на триваючі виклики, які пов'язані з широкомасштабною агресією та зовнішніми економічними факторами. Від'ємне сальдо зовнішньої торгівлі у 2024 році збільшилось на 3,6% в порівнянні з 2023 роком (25,239 млрд дол. США). При цьому за останній рік експорт зріс на 16,5% (до 38,423 млрд дол. США), а зростання імпорту зафіксовано на рівні 11,0% (до 63,662 млрд дол. США). Наведені дані вказують на необхідність для України сконцентруватися на розширенні експортного потенціалу країни і підтримці стратегічних галузей АПК, ІТ та машинобудування. Тобто активне нарощування експортних можливостей економіки України є нагальним пріоритетом для держави.

Початок 2025 року вказує на зростання ринку експорту в Україні. За березень 2025 року експорт товарів з України збільшився в грошовому еквіваленті на 18% в порівнянні з лютим 2025 року. Сумарний обсяг експорту за I квартал 2025 року - 9,9 млрд дол. США, а головним торговельним партнером України продовжує залишатись ЄС. Наприклад, зростання експорту в березні 2025 року обумовлене збільшенням поставок насіння соняшнику, макухи, заліза, соняшникової олії.

Наразі серед лідерів експортованих товарів, що приносять нашій державі найбільші надходження 7 позицій:

- залізо — 118,9 млн дол. США (300 900 т);
- ізольовані проводи — 124,6 млн дол. США (6 500 т);
- соєві боби — 150,2 млн дол. США (369 200 т);

- залізна руда і концентрати — 238,4 млн дол. США (2,9 млн т);
- пшениця — 253,9 млн дол. США (1,1 млн т);
- соняшникова олія — 503 млн дол. США (441 тис. т);
- кукурудза — 514,4 млн дол. США (2,4 млн т).

Як бачимо, серед лідерів за обсягами експортних перевезень – продукція АПК: кукурудза, пшениця, соняшникова олія. Найбільш популярними з початку 2025 року для експорту з України були:

Польща (407,7 млн дол. США),
 Туреччина (294,3 млн дол. США),
 Італія (231,8 млн дол. США),
 Німеччина (196,3 млн дол. США),
 Китай (189,4 млн дол. США),
 Іспанія (185,7 млн дол. США).

Розглянемо детальніше експортні можливості АПК України. Наразі є добра динаміка експорту продукції агросектору. Навіть під час широкомасштабної агресії Україна не втратила у вартісному показнику щодо експорту сільгосппродукції. У середньому щорічна валютна виручка від агроекспорту складає понад 22 млрд дол. США. Продукцію України очікують і в Південно-Східній Азії та в країнах Африки, отже диверсифікувати канали постачання наших продуктів – це зобов’язання та пріоритет Мінагрополітики. Наразі короткострокова ціль - фіналізація відкриття китайського ринку (горох, борошно, м’ясо птиці, риба). Мінагрополітики активно працює з аграрними асоціаціями щодо виходу на нові ринки (є зацікавленість Малайзії, Індонезії, Бангладешу та інших країн).

Мінагрополітики активно співпрацює в питаннях логістики з АТ «Укрзалізниця». Наразі актуальне питання - відміна 30% знижки на транспортування продукції залізницею для аграріїв на прифронтових територіях. Йде пошук спільного вирішення проблеми. Розглядаються різні механізми, в тому числі, пошук ресурсу для покриття витрат. Обговорюється тарифікація перевезень продукції з портів. Як варіанти, розглянуто

упровадження єдиного тарифу, індексацію тарифів або розбиття суми на два платежі, тобто за зношення інфраструктури та окремо за кілометраж. Створюється робоча група з представників відповідних відомств для напрацювання дорожньої карти, як для аграріїв з прифронтових територій, так і для інших регіонів.

Розглянемо стан справ на видах транспорту, які найбільше задіяні в експорті продукції АПК, особливо зерновантажів. В розділі 1 даної роботи проаналізовано роботу залізниці за останні роки. Проте переважаюча частка експорту зернових вантажів проходить через водні переходи. Обсяги перевалки в українських портах за останні 5 років зазнали суттєвих змін: від падіння в 3 рази з початком широкомасштабної агресії, до нарощування обсягів в наступні 2 роки майже вдвічі (рисунок 2.1).

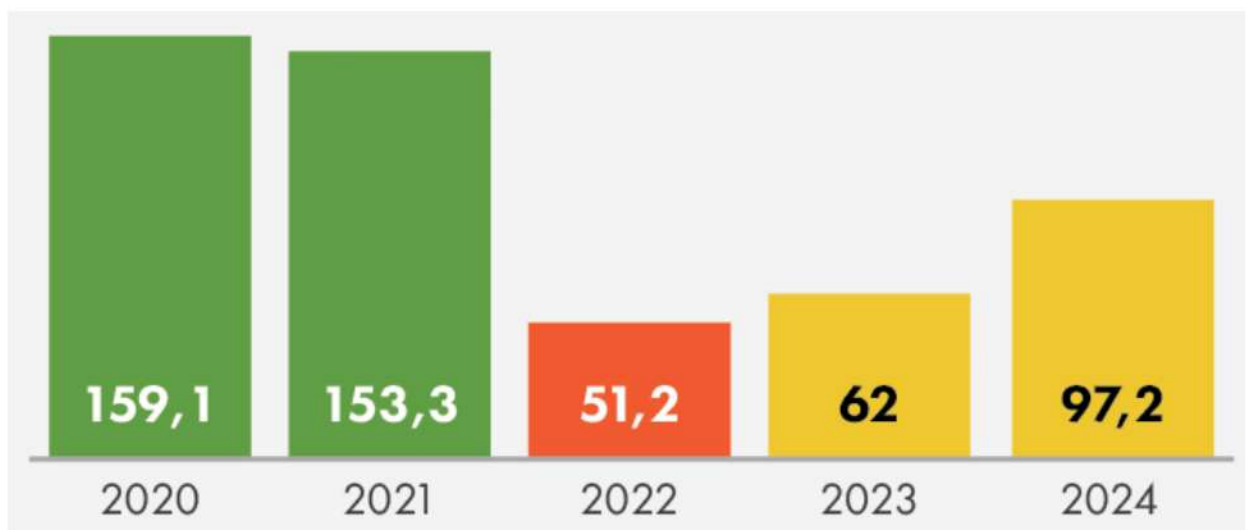


Рисунок 2.1 Обсяги перевалки вантажів в портах України за 2020-2024 роки (млн т)

Зернові вантажі, які слідують на експорт, залишаються пріоритетним (основним) вантажем в портах України, в тому числі і під час військового стану. Звичайно, на початковому етапі агресії при блокуванні чорноморських портів України фіксувались суттєві зниження перевалки зернових вантажів. Однак з початком функціонування зернового коридору обсяги почали

зростати і в 2024 році перевищили довоєнні рівні (рисунок 2.2). За 2024 рік частка зернових вантажів в перевалці портів перевищувала 60%.

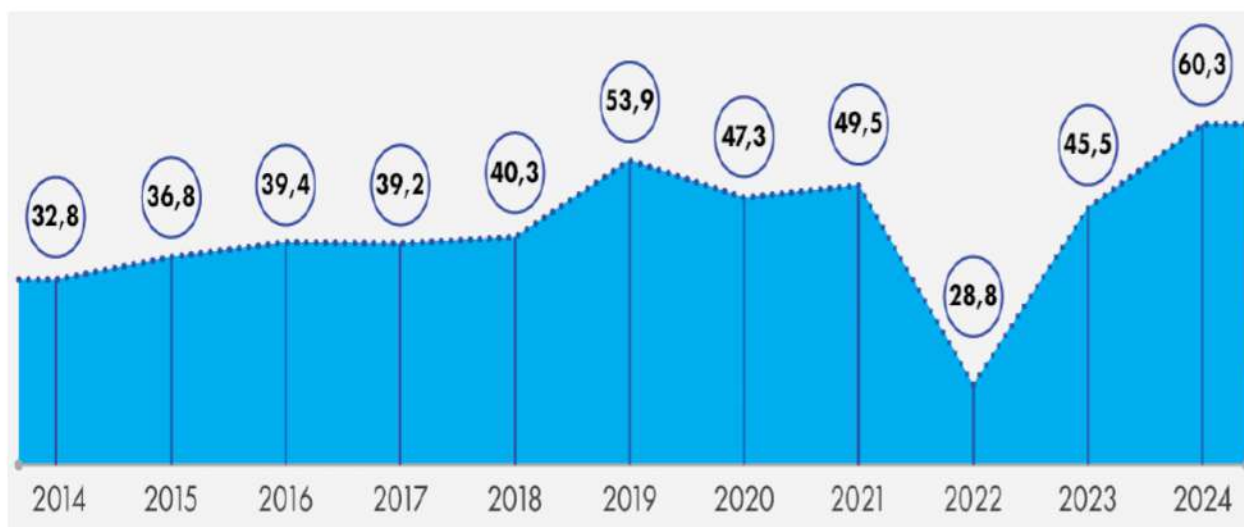


Рисунок 2.2 Обсяги перевалки експортних зернових вантажів в портах України за 2014-2024 роки (млн т)

Робота українського морського коридору дозволила вітчизняним портам вийти у 2024 році на 2/3 довоєнного обсягу перевалки. При цьому порти Великої Одеси знову стали основними воротами морського експорту, а гавані на Дунаї зменшили обсяги, обробляючи невеликі судові партії або нішеві вантажі. Держава повинна знайти певні механізми підтримки цих портів, як резервного шляху експорту. Також важливим на найближчий період (принаймні, на 2025 рік) є розблокування роботи саме Миколаївських портів, але тут питання знаходиться у безпековій площині, як і для всієї портової галузі України.

Важливим моментом є напрямки експортних перевезень, які можуть мати суттєві коливання в залежності від кон'юнктури та інших впливів (наприклад, широкомасштабні військові дії). З початком агресії і блокуванням портів України експортні потоки почали переорієнтовуватись на західні сухопутні прикордонні переходи, де стикнулись з обмеженістю пропускної спроможності залізниць країн ЄС. За 2024 рік 36,5% всіх експортних

перевезень залізницею України слідували через сухопутні переходи, а 63,5% - в порти. Проте стосовно експорту зернових вантажів маємо іншу ситуацію, яку нижче і розглянемо більш детально.

В таблицях 2.1 та 2.2 наведені помісячні статистичні дані щодо експорту зерна з України відповідно у 2023 та 2024 році при використанні певних прикордонних переходів (сухопутні чи водні) різними видами транспорту.

Таблиця 2.1 – Обсяги експорту зерна з України за 2023 рік в розрізі видів транспорту та прикордонних переходів (сухопутні, водні) (тис. т)

Мі- сяць	Заліз- ниця	Авто- транс- порт	Сума сухо- путні пере- ходи	% сухо- путні пере- ходи	Порти	По- роми	Сума водні пере- ходи	% водні пере- ходи	Зага- лом
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1069,5	423	1492,5	27,4%	3959,2	0	3959,2	72,6%	5451,7
2	1020,5	465,5	1486	23,6%	4802,9	0	4802,9	76,4%	6288,9
3	1075,3	483,4	1558,7	20,9%	5792,6	100,4	5893	79,1%	7451,7
4	644,3	229,8	874,1	15,8%	4568,2	89,4	4657,6	84,2%	5531,7
5	638,6	186,1	824,7	18,6%	3526,9	85,3	3612,2	81,4%	4436,9
6	675,3	190,3	865,6	17,8%	3900,8	90,4	3991,2	82,2%	4856,8
7	681,6	197,7	879,3	26,0%	2364,9	143,9	2508,8	74,0%	3388,1
8	913,3	258,9	1172,2	31,6%	2391,9	146,6	2538,5	68,4%	3710,7
9	956,8	247,7	1204,5	33,1%	2323,8	108	2431,8	66,9%	3636,3
10	862	225,9	1087,9	25,1%	3130,7	118,5	3249,2	74,9%	4337,1
11	941,7	184,7	1126,4	20,8%	4294,7	0	4294,7	79,2%	5421,1
12	839,8	135,6	975,4	13,6%	6141,8	60,2	6202	86,4%	7177,4
Всього	10318,7	3228,6	13547,3	22,0%	47198,4	942,7	48141,1	78,0%	61688,4

рахунок охорони вантажів, адже ставка при прямуюванні прямого маршруту за 1 вагоно-кілометр в 2,35 рази менша, ніж при вагонній відправці [22].

Концентрація вантажопотоків на елеваторах може досягатись двома варіантами: або за рахунок збільшення обсягів зберігання зерна в них, а відповідно й відстані підвозу зерна до елеваторів автотранспортом, або ж за рахунок концентрації його вантаження на елеваторах у окремі дні тижня [23]. Збільшення обсягів навантаження до маршрутної відправки вимагає збільшення відстаней перевезення автомобільним транспортом до елеватора у:

$$n_3 = \sqrt{\frac{m_m}{m_c}} \quad (2.4)$$

де m_m – кількість вагонів у маршруті;

m_c – середньодобова кількість вагонів, яка відправляється із елеватора.

Дещо іншим напрямком забезпечення навантаження відправницьких маршрутів є збільшення тривалості зберігання вантажу. Середньозважена тривалість накопичення вантажів на маршрут складе:

$$T_H = \frac{m_m}{m_c} \quad (2.5)$$

а середнє зростання тривалості зберігання зернових вантажів:

$$t_{36} = \frac{(T_H - 1)}{2} \quad (2.6)$$

За збереження обсягів середньодобового навантаження для формування відправницьких маршрутів на станції здійсниться за:

$$T_H = \frac{54}{6} = 9 \text{ діб,}$$

а збільшення тривалості зберігання зерна на елеваторі складатиме:

$$t_{зб} = \frac{(9-1)}{2} = 4 \text{ доби.}$$

В цілому, додаткові витрати, які пов'язані з розвитком інфраструктури, та віднесені на 1 т, складуть:

$$S_p = \frac{K}{T_{ок}Q_p} \quad (2.7)$$

де Q_p – річний обсяг навантаження зерна елеватором на залізницю.

Розрахунок оптимального часу накопичення вантажу на маршрут визначається мінімальними додатковими витратами, що пов'язані із доставкою зерна автомобільним транспортом, та його зберіганням на елеваторі й розвитком інфраструктури [23]:

$$E_d = \min \left(\frac{T_H - 1}{2} c_{зб} + \frac{T_H K}{365 p_{ст} m_M T_{ок}} + l_{авт} c_{авт} \left(\frac{m_M - m_c T_{ок}}{m_M} \right) \sqrt{\frac{m_M + m_c T_{ок}}{m_c T_{ок}}} \right) \quad (2.8)$$

де $c_{зб}$ – вартість зберігання зернових на елеваторі [4];

$l_{авт}$ – середня відстань перевезення зернових саме до елеватора.

Запровадження АТ «Укрзалізниця» гнучкої системи знижок на маршрутні перевезення й початково-кінцеві операції надасть відправникам додаткові стимули як для розвитку відправницької маршрутизації, так й для оновлення власного рухомого складу і інфраструктури [23].

В сучасних умовах доцільним є розробка моделі формування ступінчастих маршрутів із визначенням оптимальної кількості вагонів в маршрутній відправці, а цільова функція моделі бути мати вигляд суми приведених витрат на виконання операцій [24]:

$$C = \sum_{i=1}^6 C_i \Rightarrow \min \quad (2.8)$$

До цієї суми входять наступні види витрат:

1 витрати на подавання-забирання вагонів [24]:

$$C_1 = \frac{C_{л-г} t_n n l_{ваг}}{l_{\phi}}, \quad (2.9)$$

де $C_{л-г}$ – вартість локомотиво-год маневрової роботи, грн;

t_n – час на подачу й забирання вагонів, год;

n – кількість вагонів відправки;

$l_{ваг}$ – довжина вагона, м;

l_{ϕ} – довжина навантажувально-розвантажувального фронту, м.

2 питомі витрати при зберіганні зерна в вагонах у виробника у процесі накопичення [24]:

$$C_2 = \frac{n C_{в}}{Q_{в}} \quad (2.10)$$

де $C_{в}$ – вартість простою вагона (склад на колесах) на під'їзній колії, грн;

$Q_{в}$ – потужність виробника, ваг/год.

3 витрати з переміщення маршруту (до станції формування і до порту):

$$C_3 = \frac{f_n}{n} \quad (2.11)$$

де f_n – витрати на переміщення.

4 витрати на вантаження вагонів [25]:

$$C_4 = \frac{C_{в-г} n P_{см}}{k Q C_{см}} \quad (2.12)$$

де $C_{в-г}$ – вартість однієї вагоно-год. простою, грн;
 $P_{см}$ – середнє навантаження вагона, т;
 k – кількість одиниць вантажно-вивантажувальної техніки, шт.;
 Q – продуктивність одиниці техніки, т/год;
 $C_{маш}$ – вартість роботи вантажно-вивантажувальної техніки, грн.
5 витрати на накопичення маршруту [26]:

$$C_5 = \frac{C_{в-г} t_{пр}}{n} \quad (2.13)$$

де $t_{пр}$ – час простою вагонів на станції формування ступінчастого маршруту, год.

6 питомі витрати при зберіганні зернових вантажів у очікуванні вивантаження у порту [27]:

$$C_6 = \frac{C_{зб} n}{Q_n} \quad (2.14)$$

де $C_{зб}$ – вартість збереження зерна у одному вагоні, грн;

Q_n – переробна можливість порту, ваг/год.

Отже, цільова функція вказаної моделі технології формування маршруту перевезення зернових вантажів матиме наступний вигляд [29]:

$$C_0 = \frac{C_{л-г} t_n n l_{ваг}}{l_{\phi}} + \frac{n C_{в}}{Q_{в}} + \frac{f_n}{n} + \frac{C_{в-г} n P_{см}}{k Q C_{см}} + \frac{C_{в-г} t_{пр}}{n} + \frac{C_{зб} n}{Q_n} \Rightarrow \min \quad (2.15)$$

При цьому система обмежень для вказаної функції має вигляд [29]:

$$\begin{cases} n_{min} \leq n \leq n_{max} \\ t_{nv} + t_v + t_{нак} + t_{п} \leq t_d \\ nl_{ваг} \leq l_{ф} \end{cases} \quad (2.14)$$

де n_{max} , n_{min} – максимальна і мінімальна вагонна норма відповідно;

t_{nv} – час на виконання операцій з прибуття та відправлення, год;

t_v – час виконання вантажних операцій, год;

$t_{нак}$ – час накопичення маршруту, год;

t_n – час переміщення вагонів, год;

t_d – допустимий час доставки, год.

У першому обмеженні склад вагонів не повинен перевищувати максимально допустиму норму вагонів й бути меншим від мінімально допустимої норми вагонів вантажних поїздів на напрямку. Друга ж умова визначає дотримання логістичного принципу доставки (перевезення) зернових вантажів «точно в строк», а третє обмеження встановлює, яка кількість вагонів в маршруті повинна відповідати довжині вантажного фронту[29].

Висновок. 1 Встановлено, що експорт зерна з України проходить пріоритетно водними шляхами, частка яких в обсягах перевезення після спаду з початком введення військового стану в подальшому почала невпинно нарощуватися (за 2023 рік – до 78,0%, за 2024 рік – до 88,3%). Експорт зерна через сухопутні переходи (залізниця та автотранспорт) має обернену тенденцію і поступово втрачає частку в експортному потенціалі зернових вантажів (22,0% - за 2023 рік, 11,7% - за 2024 рік) при беззаперечному лідерстві залізничного транспорту (в 3...4 рази перевищує обсяги експорту зерна автотранспортом). Залізниця залишається лідером і в підвезенні експортного зерна до портів України. Активне нарощування експортних можливостей АПК України є нагальним пріоритетом для держави, а залізничний транспорт повинен вчасно адаптуватись до викликів в цій сфері, підвищуючи, в першу чергу, ефективність маршрутизації перевезення зернових вантажів.

2 Доведено, що ефективність від маршрутизації перевезень у нинішніх умовах полягає саме у тому, що вона забезпечує досить швидке просування вантажів із пунктів виробництва в пункти споживання, прискорює обіг вагонів, знижує простої вагонів на технічних станціях, зменшує потреби у вагонному парку, знижує роботу станцій із переробки поїздів, забезпечує збільшення швидкості доставки вантажів, знижує собівартість перевезення й створює певні умови забезпечення схоронності вантажів.

3 Визначено, що усі отримані залежності виконуються при існуючій тарифній системі, в якій не передбачені знижки для відправників маршрутних перевезень. Але ж, переміщення маршрутних поїздів для залізниці потребують значно менше витрат, адже зникає необхідність переробки указаних вагонопотоків на станціях технічних, а початково-кінцеві операції виконують на місцях незагального користування відправниками та отримувачами. Запровадження АТ «Укрзалізниця» гнучкої системи знижок саме на маршрутні перевезення й на початково-кінцеві операції дасть відправникам додаткові стимули й для розвитку відправницької маршрутизації, а також і для оновлення власного рухомого складу та інфраструктури.

3 Формування імітаційної моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів

3.1 Концентрація вантажопотоків на вузлових елеваторах

Наразі на полігонах регіональної філії «Південна залізниця» завантаження зерна може виконуватися більше як на 170 станціях. До того ж, як уже показано у розділі 2, практично на половині станцій навантаження середньодобове складає менше 1 вагона на добу. Як відомо, лише 5% станцій вантажать зернові загалом більше половини року, а 36% - виконують завантаження зерна менше одного місяця. Така ситуація зумовлює те, що більша частина зернових змушена відправлятися зі станцій вагонними відправками. Однак, з використанням саме такої технології, відбувається суттєве зменшення ефективності використання зерновозів й продуктивності вагона. До того ж, збільшується потрібний робочий парк вагонів-зерновозів для виконання запланованого об'єму перевезень і їх оборот. Для вирішення цього непростого питання АТ «Укрзалізниця» прийняте рішення з широкого впровадження маршрутизації перевезення зерна. Але на практиці, після прокладання деяких маршрутів, виникала наступна проблема: забезпечення порожніми вагонами в першу чергу відправників маршрутів, обмежує доступ щодо навантажувальних ресурсів для категорії відправників порівняно незначних партій зернових вантажів.

Станом на кінець 2024 року з використанням системи АСКВП-УЗ-Є було встановлено, що середній по країні обіг вагона-зерновоза складає 223,8 год, із яких час на вантаження становить 48 год, простій навантаженого вагона - 58,8 год, переміщення завантаженого вагона – 22,3 год, час на розвантаження – 37,5 год, простій порожнього вагона – 35,6 год, переміщення порожнього вагона – 21,6 год. [30].

Співвідношення елементів обороту вагона-зерновоза (у відсотках) наведено на рисунку 3.1



Рисунок 3.1. Поелементна структура обороту вагона-зерновоза

Як бачимо із даного рисунку, знаходження вагону у русі складає лише 20% від сумарної величини обігу, а 42% – простої на технічних станціях.

Ці дані свідчать про недосконалість сучасної системи організації перевезення зернових вантажів, й також вказують на певні резерви скорочення обороту вагонів та покращення показників експлуатації рухомого складу.

На регіональній філії «Південна залізниця» фактичне формування прямих відправницьких маршрутів з зерном можливе лише на 20...30 станціях. Не стане виходом закриття малодіяльних станцій, де відбувається навантаження зерна або ж впровадження додаткової плати за подачу-забирання вагонів-зерновозів на такі станції, адже це спричинить досить значну втрату філією обсягів перевезень, а виходом із такої ситуації може бути концентрація навантаження зерна у вагони-зерновози саме на вузлових станціях [24]. Проведення концентрації вантажопотоків на меншій кількості елеваторів (вузлових) матиме такі позитивні аспекти:

- збільшиться кількість маршрутних поїздів;

- спроститься взаємодія між вантажовідправником, регіональною філією та контролюючими органами.

Однак, концентрація вантажопотоків буде приводити до збільшення витрат на доставку зернових автомобільним транспортом на елеватори. Проте саме це компенсується тим, що якраз ті лінійні елеватори, що зорієнтовані на маршрутизацію вагонопотоків, будуть забезпечувати зменшену вартість доставки зерна у порти, і до того ж отримують конкурентні переваги порівняно із елеваторами, які не забезпечують маршрутизацію.

Реалізація системи перевезень зернових вантажів під час формування експортно-орієнтованої мережі вузлових елеваторів, може відбутися наступним чином: перевезення зерна із польових елеваторів, що хаотично розташовані у певному районі виробництва зерна й мають досить незначну ємність для формування маршрутних відправок, буде виконуватись до лінійних елеваторів автомобільним транспортом; відповідно саме лінійні елеватори стануть основним елементом системи доставки зернових до морських портів, адже вони мають усі можливості для формування маршруту й відповідно будуть виконувати роль вузлових елеваторів [24].

На одному вузловому елеваторі повинно забезпечуватись відвантаження зернового маршруту (тобто 54 вагона) в період до 7 діб. Згідно із експертними оцінками для забезпечення вантаження одного маршруту на добу елеватор повинен мати такі параметри: ємність одночасного зберігання від 30...50 тис. т й більше; продуктивність системи для завантаження залізничних вагонів 150...200 т/год; наявність накопичувальних залізничних колій із розрахунку (900...1200 м); під'їзна колія, що забезпечує подачу 52...56 вагонів за добу; тепловоз маневровий власний; накопичувальні силоси (по 2 штуки на кожен вагон) сумарною ємністю 100...130 т. За таких умов загальна середня вартість спорудження такого елеватора (в тому числі з врахуванням проєктування, обладнання, монтажу та будівельних робіт) складе близько 250 USD на 1 т зберігання [24].

Крім того, зазначаємо, що для більш ефективного визначення районів та станцій концентрації зерна й планування маршрутизації необхідно застосування як системного підходу, так й сучасних методів оптимізації. Отже, метою кваліфікаційної роботи є розробка методики формування мережі районів концентрації завантаження зернових вантажів для комплексного забезпечення відправницької маршрутизації перевезень залізницею зерна у експортні пункти переходу України, а також визначення ефективності запропонованої технології залізничних перевезень зернових маршрутами.

3.2 Визначення районів концентрації навантаження зерна

Сформувати райони концентрації зернових на базі вибору вузлових елеваторів (а практично станцій) є досить не простою, а багатоваріантною й багатofакторною оптимізаційною задачею.

Для рішення такої задачі необхідно врахувати існуючу інфраструктуру станцій й елеваторів, можливості їх розвитку, наявні й прогнозні обсяги вантаження зернових вантажів, а також додаткові витрати, які пов'язані із зберіганням зернових, вантаженням й формуванням маршрутів, доставкою зерна саме на вузлові станції автотранспортом, витрати на перевезення зернових залізничними маршрутами у порти [24].

Задача визначення районів можливої концентрації вантаження зернових й відповідних їм вузлових станцій, де саме буде здійснюватися вантаження зернових маршрутів, може формулюватись нижченаведеним чином.

На певному залізничному полігоні розташована множина S станцій вантаження зерна $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_z\}$, де z – загальна кількість станцій вантаження зерна ($z=192$), а відстані l_{ij} між кожною суміжною парою станцій s_i й s_j ($s_i, s_j \in S$) можна представити матрицею відстаней L [21]:

$$L = \begin{vmatrix} 0 & l_{12} & \dots & l_{1j} & \dots & l_{1z} \\ l_{21} & 0 & \dots & l_{2j} & \dots & l_{2z} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{i1} & l_{i2} & \dots & l_{ij} & \dots & l_{iz} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{z1} & l_{z2} & \dots & l_{zj} & \dots & 0 \end{vmatrix} \quad (3.1)$$

Кожний елемент множини S (тобто станція) характеризується низкою параметрів і може бути представлений такою структурою:

$$S_i = \{I, N, c, q, p, T, K\} \quad (3.2)$$

де I – ідентифікатор станції (код ЄСР) [21];

N – назва станції [21];

c – класність станції;

q – середньорічний обсяг вантаження зерна, ваг;

p – потужність елеваторної інфраструктури з одночасного зберігання зерна, тис. т;

T – вектор, який характеризує відстань від даної станції до основних морських портів;

K – вектор, який характеризує можливий обсяг додаткових капіталовкладень у розвиток інфраструктури станції за реалізації вантаження маршрутів із зерном.

Кожен елемент вектора T являє собою номер тарифного поясу, який відповідає відстані від конкретної станції s_i ($s_i \in S$) до одного із морських портів, де здійснюється саме перевалка зерна на експорт [22]:

$$T_i = \{t_1, t_2, \dots, t_i\} \quad (3.3)$$

Кожному елементу вектора K повинна відповідати певна величина додаткових капітальних інвестицій, що необхідні для розвитку

інфраструктури станції s_i (елеваторної й залізничної) в випадку завантаження відповідно одного, двох та трьох маршрутів із зерном:

$$K_i = \{k_1, k_2, k_3\} \quad (3.4)$$

Слід вказати, що одержання конкретних значень вектора k_1, k_2, k_3 в грошовому еквіваленті для кожної конкретної станції є досить трудомістким завданням. У зв'язку із цим необхідно буде використати параметризовані значення k_1, k_2, k_3 в діапазоні $[0; 1]$; при цьому $k_j = 0$ буде означати, що додаткових коштів на розвиток інфраструктури станції при формуванні j зернових маршрутів на тиждень не буде потрібно, а $k_j = 1$ – формування j зернових маршрутів на тиждень на даній станції недоцільно із-за необхідності значних інвестицій у інфраструктуру, у інших випадках – $0 < k_j < 1$. Конкретні значення вказаних параметрів k_1, k_2, k_3 для кожної станції повинні визначатися експертним шляхом на базі аналізу її інфраструктури.

Середньорічні обсяги вантаження зерна q_i для кожної станції повинні визначатися на основі статистичної обробки даних, які отримані з АСКВП-УЗ-Є. Дані щодо класності c_i кожної станції й потужності її елеваторної інфраструктури p_i можуть бути отримані із ТРА станцій за допомогою АРМ ТРА.

На базі саме цих вихідних даних необхідно:

- із множини S виділити підмножину S^* ($S^* \subset S$) вузлових станцій s_u^* ($s_u^* \in S^*, u=1, 2, \dots, m$), на яких буде здійснюватися вантаження маршрутів;
- для кожної ж вузлової станції s_u^* (тип U) визначити район концентрації вантаження R_u ($u=1, 2, \dots, m$), тобто множину станцій $s_v \in S$ (тип V), із яких буде організоване підвезення зернових вантажів автотранспортом на вузлову станцію s_u^* :

$$R_u = \{I_r, Q_r, S^*, s_1, s_2, \dots, s_v \dots s_f\}, \quad s_v \in S, \quad (3.5)$$

де I_r – ідентифікатор району концентрації;

Q_r – сумарне річне вантаження зерна на усіх станціях району, ваг.

При формуванні районів концентрації вантаження необхідно дотримуватись нижченаведених умов:

- відстань від конкретної вузлової U -станції s_u^* району R до будь-якої V -станції району s_v ($s_v \in R_u$) не повинна перевищувати максимально установленної величини $l_{\max}$ (для вирішення задачі прийнято $l_{\max}=30$ км)

$$(\forall s_v \in R_u)(\forall s_v^* \in R_u)(l_{uv} \leq l_{\max}), \quad v = 1, 2, \dots, f_u, \quad u = 1, 2, \dots, m \quad (3.6)$$

– сумарний річний обсяг зерна, що вантажиться на станціях району концентрації R_u повинен бути не меншим за мінімально встановлене значення $Q_{\min}$ (для вирішення задачі прийнято $Q_{\min}=3000$ ваг/рік, що забезпечить вантаження не менше 1 маршруту з зерном на тиждень):

$$(\forall R_u)(Q_r \geq Q_{\min}), \quad u = 1, 2, \dots, m \quad (3.7)$$

І, нарешті, розв'язання задачі вибору вузлових станцій й районів концентрації вантаження зерна має забезпечити мінімальні загальні витрати, які пов'язані із маршрутизацією перевезення зерна на експорт через порти. Укрупнено всі ці витрати можна представити як:

$$\sum_{u=1}^m E_u^{\text{авто}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зб}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зм}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зв}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{інф}} \rightarrow \min \quad (3.8)$$

де $E_u^{\text{авто}}$ – додаткові витрати на перевезення зернових вантажів на вузлову станцію району R_u автотранспортом, млн. грн.;

$E_u^{3б}$ – додаткові витрати щодо зберігання зерна на вузловій станції району R_u для накопичення маршруту, млн. грн.;

E_u^{3M} – витрати щодо перевезення зерна у порти маршрутами із вузлової станції району R_u , млн. грн.;

$E_u^{3в}$ – витрати щодо перевезення зерна в порти вагонними відправками із станцій району R_u , млн. грн.;

E_u^{inf} – додаткові приведені витрати, які пов'язані із розвитком елеваторної і залізничної інфраструктури вузловій станції району R_u , млн. грн.

3.3 Визначення вузлових станцій для навантаження маршрутів

Вирішення поставленої задачі визначає поділ початкової множини станцій вантаження зерна S на дві підмножини: 1) S^* , що включає вузлові станції можливої концентрації вантаження (U -станції); 2) S' , яка включає станції, на яких вантаження зернових маршрутів не є доцільним. Із огляду на значну кількість станцій вантаження зерна (понад 500), для отримання вказаних підмножин досить ефективно використати методи кластерного аналізу [25,26].

Кластерний аналіз представляє собою спосіб групування (класифікації) багатовимірних об'єктів, що заснований на представленні результатів окремих спостережень саме точками відповідного геометричного простору із подальшим виділенням груп (кластерів) вказаних точок (рисунок 3.2). І при цьому кожний об'єкт характеризується вектором параметрів (показників) $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N\}$. Головне завдання методів кластерного аналізу – виділити у початкових багатовимірних даних такі саме однорідні простори, щоб об'єкти усередині такого простору (групи чи кластеру) були «схожі» у певному сенсі один на одного, а об'єкти із різних груп (кластерів) – «не схожі». У даному випадку під «схожістю» розуміємо близькість об'єктів у багатовимірному просторі.

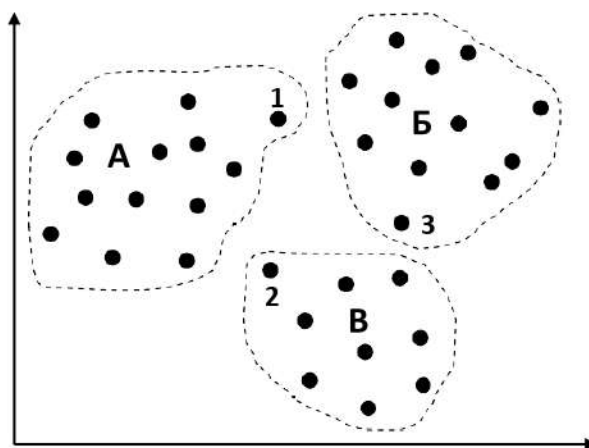


Рисунок 3.2 – Графічна інтерпретація групування об’єктів в кластери

Вибір алгоритму класифікації. При виділенні підмножини вузлових станцій S^* необхідно використати алгоритми прямої класифікації, адже вони орієнтовані на виділення кластерів із наперед заданими властивостями, що якраз і відповідає умовам поставленої задачі. До того ж, алгоритми прямої класифікації мають ряд переваг, до яких маємо віднести простоту і ясність класифікації, а також порівняно невисоку трудомісткість. Алгоритми прямої класифікації можливо розділити на агломеративні (стратегія об’єднання кластерів) і дивізивні (стратегія поділу) [26].

У агломеративних алгоритмах (на відміну від дивізивних) кожен об’єкт, який класифікується, на початку являє собою окремий кластер. З кожним кроком алгоритму здійснюється об’єднання двох найбільш близьких кластерів. Таке відбувається доти, поки число кластерів не досягне деякого, у більшості випадків, заздалегідь заданого значення (у даному випадку – це два кластери – підмножини S^* й S'). Дивізивні алгоритми ж доцільно застосовувати, коли вихідну сукупність необхідно поділити на досить велику кількість кластерів (більше 10) [26], що в цілому не відповідає умовам сформульованої задачі класифікації станцій вантаження зерна. До того ж, дивізивні алгоритми досить нестійкі саме при класифікації «спірних» об’єктів, які знаходяться на кордонах кластерів (об’єкти 1, 2, 3 на рисунку 3.2). У зв’язку із цим, для вирішення сформульованої задачі класифікації станцій вантаження зерна була використана

саме агломеративна стратегія.

Визначення інформативних параметрів. Для результативної роботи будь-якого методу класифікації, в тому числі і кластерного аналізу, й отримання достовірних результатів дуже важливим є визначення інформативних параметрів, за якими здійснюється класифікація об'єктів (у даному випадку – станцій вантаження зерна). Для класифікації станцій вантаження зерна s_i використовують відповідні вектори даних (3.2). Однак, як зазначено у [26], із збільшенням кількості показників, що використовуються для класифікації об'єктів, їх якість знижується. У зв'язку із цим серед множини параметрів, які характеризують вантажну станцію (3.2), необхідно встановити найбільш значущі (інформативні).

В зв'язку із цим на основі методів багатовимірного статистичного аналізу (зокрема, множинних рівнянь Шеффе), а також із урахуванням експертних оцінок були виділені такі наступні інформативні параметри (3.2): класність станції – c , річний обсяг вантаження зерна – q , наявна потужність елеваторної інфраструктури – p , додаткові витрати щодо розвитку елеваторної й залізничної інфраструктури для забезпечення вантаження зернових маршрутів – k_1, k_2, k_3 .

Стандартизація значень інформативних параметрів. Достатньо очевидно, що обрані інформативні параметри станцій для класифікації вимірюються у різних одиницях і мають різні діапазони значень. Однак при цьому параметри із великим розмахом значень даватимуть домінуючий вплив на результати класифікації. До того ж, методи кластерного аналізу передбачають, що значення усіх показників об'єктів класифікації повинні мати одні й ті ж самі одиниці вимірювання. Із-за цього необхідна стандартизація розглянутих значень інформативних параметрів вантажних станцій із метою приведення їх до безрозмірних величин. Вибір методу стандартизації досить складна задача, що суттєво впливає на якість класифікації. Це пояснюється саме тим, що вибір методу може досить сильно змінювати геометрію вихідного N -вимірного простору. У кваліфікаційній роботі виконано дослідження

ефективності декількох методів стандартизації даних, які розглянуті в роботах [25,26], розрахункові вирази для них наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Методи стандартизації значень параметрів при класифікації

№	Формула	№	Формула	№	Формула
1	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{R_j}$	4	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{X_j^{\max}}$	7	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j^{\min}}{\sigma_j^2}$
2	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{\sigma_j^2}$	5	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{\bar{X}_j}$	8	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j^{\min}}{\sigma_j}$
3	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{\sigma_j}$	6	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j^{\min}}{\bar{X}_j}$	9	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j^{\min}}{R_j}$

В таблиці 3.1 прийняті такі позначення: $X_{i,j}, X_{i,j}'$ – значення j -го показника для i -го об'єкта (тобто станції) множини, відповідно, до та після стандартизації; $X_j^{\min}, X_j^{\max}$ – відповідно, мінімальне й максимальне значення j -го показника серед всіх об'єктів множини; $\sigma_j^2, \bar{X}_j, R_j$ – відповідно, дисперсія, середнє значення й розмах j -го показника в множині ($R_j = X_j^{\max} - X_j^{\min}$).

Експертним шляхом була також виконана «еталонна» класифікація вибірки із 25 станцій вантаження зерна на два кластери: U -станції і V -станції. Ефективність кожного із методів стандартизації (таблиця 3.1) оцінювалася за двома наведеними критеріями: ймовірності помилкової класифікації – $P_{\text{пом}}$ (в порівнянні із «еталонною» класифікацією) й величиною сумарної внутрішньої групової дисперсії – $D_{\text{гр}}$. Дослідження, які виконані на ПЕОМ за допомогою пакету «Statistica», показали, що самі кращі результати ($P_{\text{пом}} = 5\%$) отримані за стандартизації даних на розмах (метод 1), найгірші результати - при стандартизації на дисперсію (метод 2).

Вибір міри відмінності об'єктів. При проведенні класифікації істотну роль відіграє також і вибір міри відмінності між окремими об'єктами. Міра відмінності між двома об'єктами a й b являє собою величину (тобто відстань) d_{ab} , яка тим більша, чим менше подібність об'єктів a і b . При виборі методу класифікації виконане порівняння 6 мір відмінності із метою визначення якнайбільш придатної для вирішення сформульованої задачі класифікації станцій вантаження зерна, а саме: евклідова міра, манхеттенська міра, міра Брея-Кертиса, канберрівська міра, міра Чебишева, ступенева міра (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Міри відмінності під час класифікації об'єктів

№	Міра	Вираз
1	2	3
1	Евклідова міра	$d_{ab} = \sqrt{\sum_j^N (x_{aj} - x_{bj})^2}$
2	Манхеттенська міра	$d_{ab} = \sum_j^N x_{aj} - x_{bj} $
3	Міра Брея-Кертиса	$d_{ab} = \frac{\sum_j^N x_{aj} - x_{bj} }{\sum_j^N x_{aj} + \sum_j^N x_{bj}}$
4	Канберрівська міра	$d_{ab} = \sum_j^N \frac{ x_{aj} - x_{bj} }{ x_{aj} + x_{bj} }$
5	Ступенева міра	$d_{ab} = \left(\sum_j^N x_{aj} - x_{bj} ^p \right)^{1/r}$

В таблиці 3.2 x_{aj} , x_{bj} являють собою значення j -го показника для об'єктів (станцій) a і b відповідно, а p і r – параметри, які задаються дослідником.

За допомогою пакета «Statistica» для вибору найбільш ефективної міри відмінності було виконано їх порівняльний аналіз для класифікації «еталонної» множини станцій. Ефективність кожної міри відмінності оцінювалася також за показниками $P_{\text{пом}}$ та $D_{\text{гр}}$. Дослідженнями ефективності мір відмінності показано, що найкращу якість класифікації станцій вантаження зерна отримано за використання «канберрівської» міри ($P_{\text{пом}} = 3..5\%$). Найнижчі результати отримані за використання ступеневої міри ($P_{\text{пом}} = 30..35\%$).

Визначення ефективної стратегії об'єднання. Як вище вказувалось, на кожному кроці агломеративного алгоритму кластерного аналізу об'єднуються два кластери, відстань між якими мінімальна. За цього виникає необхідність визначення відстаней між окремими кластерами, як може вирішуватись наступним чином [26].

Нехай є дві групи (кластерів) об'єктів (тобто станцій) U і V , кількість елементів у яких становить відповідно n_u і n_v , а відстань між такими кластерами d_{uv} . Допустимо, що d_{uv} – це мінімальне серед всіх можливих відстаней між всіма іншими кластерами. У цьому випадку кластери U і V об'єднуються у один кластер W із кількістю елементів $n_w = n_u + n_v$. Розглянемо деякий кластер Y , що включає n_y елементів. Коли перед об'єднанням кластерів U і V відомі відстані d_{uy} і d_{vy} , то відстань між новим кластером W і кластером Y складе:

$$d_{wy} = a_u * d_{uy} + a_v * d_{vy} + \beta * d_{uv} + \gamma * |d_{uv} + d_{vy}| \quad (3.9)$$

де a_u , a_v , β , γ – параметри, які визначають сутність стратегії об'єднання [26].

Для визначення найбільш ефективного алгоритму класифікації виконані дослідження декількох стратегій об'єднання: «далекого сусіда», «ближнього сусіда», «групового середнього», «центроїдної стратегії», «гнучкої стратегії», «квадратичної стратегії», стратегії Варда .

Порівняльний аналіз застосування вказаних стратегій для класифікації «еталонної» множини станцій вантаження зерна виконано за допомогою пакета «Statistica». Він показав, що найбільш близькі результати до «еталонної» класифікації отримані за використання «гнучкої» стратегії об'єднання і стратегії Варда ($P_{\text{пом}} = 5...7\%$). Найгірші результати мали місце при використанні стратегій «ближнього» і «далекого» сусіда ($P_{\text{пом}} = 25...35\%$).

Отже, із використанням агломеративного алгоритму кластерного аналізу, який базується на стратегії об'єднання Варда і «канберрівській» мірі відмінності об'єктів, вихідна множина станцій вантаження зерна S була розподілена на дві підмножини – S^* , що включає вузлові станції можливої концентрації вантаження (U -станції) – всього 18 станцій, і S' , що включає станції, на яких вантаження зернових маршрутів недоцільно – всього 192 станції [25,26].

3.4 Визначення районів можливої концентрації вантажних операцій з зерновими вантажами

На базі знайденої підмножини вузлових станцій S^* необхідно сформувати райони можливої концентрації вантаження зерна R_u (формула 3.5), виходячи із умови територіальної близькості V -станцій до вузлової U -станції (3.6). Для кожної вузлової станції s^* на першому кроці процедури формування відповідного їй району R (3.5): $Q_r = q_u, f = 0, (Q_r \in R_u, f \in R_u, q_u \in s^*)$.

Далі аналізуємо i -ий рядок матриці відстаней L (формула 3.1), яка відповідає станції s^* , й ті станції $s_j \in S$ ($j=1, 2, \dots, z$), для яких умова $l_{ij} < l_{\max}$ (формула 3.6) справедлива, включаються до множини (району) R_u . Потім для району R_u виконується перерахунок параметрів:

$$Q_r = Q_r + q_j, \quad f = f + 1, \quad (q_j \in s_j). \quad (3.10)$$

З використанням цієї процедури була сформована множина $R = \{R_1, R_2, \dots, R_u, \dots, R_m\}$, що включає 18 районів ($m=18$) можливої концентрації вантаження зерна (таблиця 3.3)

Таблиця 3.3 – Райони можливої концентрації вантаження зерна

№ п/п	Область	Вузлова станція s_u *	Сумарне навантаження, ваг/рік	Навантаження на станції ваг/рік	Станції району концентрації вантаження R_u
1	2	3	4	5	6
1	Чернігівська	Ліновиці	9831	2288	Прилуки, Пирятин
2	Полтавська	Гребінка	8325	365	Драбове-Барятинська, Мар'янівка, Пирятин, Лазорки
3	Чернігівська	Прилуки	8496	5675	Ліновиці, Галка
4	Полтавська	Юсківці	8175	1077	Сула, Біловоди, Андреяшівка, Лохвиця
5	Полтавська	Ромодан	7895	3110	Миргород, Хорол, Сенча
6	Полтавська	Пирятин	7708	1868	Мар'янівк, Ліновиці, Лазорки, Гребінка
7	Сумська	Торопилівка	7121	5016	Суми, Сироватка, Баси, Головашівка
8	Сумська	Суми	7121	1047	Торопилівка, Сироватка, Баси, Головашівка
9	Сумська	Сироватка	7010	590	Баси, Торопилівка, Суми, Боромля
10	Полтавська	Миргород	6813	3273	Ромодан, Гоголеве, Мелашенкове
11	Полтавська	Сула	6744	4417	Юсківці, Андреяшівка, Лохвиця, Сенча
12	Сумська	Біловоди	5495	1835	Ромни, Юсківці, Андреяшівка
13	Полтавська	Хорол	4768	1108	Ромодан, Веселий Поділ, Петрівка
14	Сумська	Ромни	4418	2154	Біловоди, Андреяшівка
15	Полтавська	Селещина	4105	1683	Карлівка, Божків
16	Полтавська	Карлівка	4020	2251	Селещина, Ланна
17	Полтавська	Решетилівка	3494	3064	Федунка, Сагайдак, Братешки, Уманцевка
18	Харківська	Савинці	3163	1955	Закомельська, Балаклея
19	Харківська	Закомельська	3149	824	Савинці, Ізюм
20	Полтавська	Глобине	3108	2237	Веселий Поділ, Рублівка

Усього до складу $m = 20$ районів увійшли $n = 46$ станцій: 20 вузлових (U -станцій) й 26 невузлових (V -станцій). За іншими невузовими станціями умова (формула 3.6) не виконується, тобто вони розташовані від найближчої вузлової станції на відстані більшій, ніж $l_{\max}$.

Для кожного сформованого району концентрації R_u ($R_u \subset R$) виконується перевірка умови (формула 3.7), тобто достатності сумарного річного обсягу вантаження зерна на станціях району для відправки із відповідної вузлової станції s_u^* хоча б одного зернового маршруту за тиждень. Якщо умова (формула 3.7) не виконується, то такий район виключається із подальших розрахунків.

3.5 Визначення ефективних районів концентрації навантаження зерна

Аналіз таблиці 3.3 показує, що більшість отриманих множин R_u ($u=1, 2, \dots, 41$) якраз є пересічними, тобто один чи кілька елементів (тобто станцій) одної множини (району) є одночасно елементами інших множин (районів). Для прикладу, невузлова станція Лазорки уходить до районів R_2 (Гребінка) й R_6 (Пирятин), а вузлова станція Ліновиці, крім району R_1 , входить також і до складу районів R_3 (Прилуки) й R_6 (Пирятин).

Отже, у отриманій множині R необхідно виділити таку підмножину R^* , всі m^* елементів якої (тобто райони концентрації вантаження R_u , $u=1, 2, \dots, m^*$) були б саме взаємно непересічними множинами. За цього сумарний обсяг вантаження зерна в підсумковій підмножині R^* повинен бути максимальним, а загальна величина витрат, що пов'язані з концентрацією вантаження зерна і формуванням зернових маршрутів повинна бути мінімальна (формула 3.8), тобто:

$$\begin{cases} Q(R^*) \rightarrow \max \\ E(R^*) \rightarrow \min \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^{m^*} Q_{r(i)} \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^{m^*} E_i \rightarrow \min \end{cases} \quad (3.11)$$

Указана підмножина $R^* \subset R$ представляє собою таке об'єднання непересічних множин $R_u^* (u=1, 2, \dots, m^*)$, для якого цільова функція (формула 3.11) досягає екстремуму.

Для вирішення сформульованої задачі (вираз 3.11) розроблена наступна процедура [25,26]. Спочатку у вихідній множині R (таблиця 3.3) виділяються непересічні й пересічні підмножини $R_u (u=1, 2, \dots, m)$. Із цією метою використовують один із DSU-алгоритмів (disjoint set union algorithm) [27]. Результатом роботи такого алгоритму якраз є матриця $G = |g_{uv}| (u=1, 2, \dots, m; v=1, 2, \dots, m)$, у якій кожному рядку u й стовпчику v відповідає певна множина (тобто район концентрації) R_u і R_v , відповідно (таблиця 3.3), а кожен елемент матриці g_{uv} являє собою список станцій $s_i (s_i \in S)$, що одночасно входять до складу районів (множин) R_u і R_v . В разі, якщо $g_{uv} = \{\emptyset\}$, множини R_u й R_v є непересічними та включаються у підсумкову підмножину $R^* \subset R$. Якщо ж $g_{uv} \neq \{\emptyset\}$, то множини R_u й R_v є пересічними; при цьому можливі такі варіанти:

- загальними елементами множин R_u і R_v є тільки вузлові U -станції (наприклад, район концентрації R_1 – Ліновиці, до якого належать вузлові станції Прилуки (R_3) й Пирятин (R_6);
- загальними елементами множин R_u й R_v є тільки невузлові V -станції (наприклад, станція Андріяшівка для районів R_{11} – Сула й R_{14} – Ромни);
- загальними елементами множин R_u та R_v є й вузлові, й невузлові станції (наприклад, райони R_7 – Торопилівка і R_8 – Суми).

Необхідно зробити перерозподіл загальних елементів для усіх пар пересічених множин R_u й R_v , та на їх основі сформувати такі множини, щоб

цільова функція (формула 3.11) досягала екстремуму. Поставлена задача (формула 3.11) вирішується методами теорії оптимального розбиття множин; однак слід мати на увазі, що ці методи досить трудомісткі і вимагають значних обсягів обчислень. Специфіка ж нашої задачі дозволяє отримати необхідне вирішення більш простими методами [27].

Перетворимо матрицю G в матрицю $X = |x_{ut}|$ ($u=1, 2, \dots, m; t=1, 2, \dots, n$), у якій кожному рядку u відповідає певна множина (тобто район) R_u , а кожному стовпчику t – певна U -станція чи V -станція. Кожний елемент матриці являє собою булеву змінну $x_{ut} = \{0; 1\}$, що приймає значення $x_{ut} = 1$, якщо станція s_t може бути включена до складу району концентрації R_u ($s_t \in R_u$), та $x_{ut}=0$ у іншому випадку ($s_t \notin R_u$). Кожній станції s_t відповідає певне значення середньорічного обсягу вантаження зерна q_t (3.2), а також деякий параметр e_{ut} , який характеризує величину додаткових витрат за включення станції s_t до району концентрації вантаження R_u . Цільова функція (формула 3.11) при цьому прийме наступний вигляд:

$$\begin{cases} \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \rightarrow \max \\ \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut} x_{ut} \rightarrow \min \end{cases} \Rightarrow \left(\begin{array}{l} \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \\ - \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut} x_{ut} \end{array} \right) \rightarrow \max \quad (3.12)$$

Слід відзначити, що визначення конкретних значень параметру e_{ut} для кожної станції вантаження зерна безпосередньо у грошовому еквіваленті є досить складним й трудомістким завданням. В зв'язку із цим була прийнята параметризована шкала значень $e_{ut} \{1; 10\}$, за якої $e_{ut} = 1$ відповідає мінімальному рівню додаткових витрат за включення станції s_t до району концентрації, а $e_{ut} = 10$ – максимальному. Конкретні значення e_{ut} для кожної станції на етапі попередніх розрахунків встановлюються експертним шляхом.

Сформулюємо обмеження задачі (формула 3.12):

$$(\forall s_t)(\sum_{u=1}^m x_{ut} \leq 1), \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (3.13)$$

$$(\forall R_u^*) \sum_{t=1}^m q_t x_{ut} \geq Q_{\min} \vee \sum_{t=1}^m q_t x_{ut} = 0), \quad u = 1, 2, \dots, m \quad (3.14)$$

$$(\forall s_t \notin R_u)(x_{ut} = 0), \quad u = 1, 2, \dots, m; \quad t = 1, 2, \dots, n \quad (3.15)$$

Обмеження (вираз 3.13) означає, що кожна станція s_t може бути включеною не більше ніж до одного району концентрації, однак може не входити і до жодного району. Обмеження (вираз 3.14) визначає, що сумарний обсяг вантаження для кожного району концентрації повинен бути не меншим величини $Q_{\min}$ (вираз 3.7), у іншому ж випадку такий район виключається, а станції, які входять у нього, перерозподіляються між іншими районами. Обмеження (вираз 3.15) виключає можливість додавання станції s_t до району, якщо це не передбачено в початковій множині R (таблиця 3.3).

Задача (3.12)-(3.15) в наведеній постановці є задачею багатокритеріальної (векторної) оптимізації [28]; і при цьому особливості задачі дозволяють віднести її до задач цілочисельного лінійного програмування із булевими змінними, для вирішення якої доцільно б перейти до однокритеріальної оптимізаційної задачі. Із цією метою використовуємо метод лінійної згортки із нормуванням критеріїв [28]; цільова функція (вираз 3.12) приймає при цьому наступний вигляд:

$$(w_q \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t^0 x_{ut} - w_e \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut}^0 x_{ut}) \rightarrow \max \quad (3.16)$$

де q_t^0, e_{ut}^0 – нормовані значення параметрів станцій вантаження зерна;

w_q, w_e – вагові коефіцієнти критеріїв оптимізації, конкретні значення яких (у діапазоні $[0; 1]$) встановлюються експертним шляхом.

Означена задача була вирішена за допомогою симплекс-методу, що модифікований для задач із булевими змінними [28]. В результаті сформована підмножина R^* , яка є об'єднанням непересічних множин; кожна така множина відповідає певному району, концентрація вантаження зерна у якому є найбільш ефективною (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Ефективні райони концентрації вантаження зерна

№ п/п	Вузлова станція s_u^*	Станції району концентрації вантаження R^*	Сумарне вантаження, ваг/рік
1	2	3	4
1	Прилуки	Галка	6208
2	Ромодан	Хорол, Сенча	4622
3	Пирятин	Ліновиці, Лазорки	4805
4	Торопилівка	Суми, Сироватка, Баси, Головашівка	7121
5	Миргород	Гоголеве, Мелашенкове	3703
6	Сула	Юсківці, Лохвиця	5911
7	Ромни	Біловоди, Андреяшівка	4418
8	Карлівка	Селещина, Ланна	4020
9	Решетилівка	Федунка, Сагайдак, Братешки, Уманцевка	3494
10	Закомельська	Савинці, Ізюм	3149
11	Глобине	Веселий Поділ, Рублівка	3108

В підсумку до складу 11 районів концентрації вантаження зерна включено 36 станцій, що за мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний обсяг вантаження зерна маршрутами не менше 50 тис. вагонів або близько 3,3 млн. т на рік, що становить приблизно 15% від загального обсягу перевезень зерна.

Висновок. Проведені дослідження дозволили констатувати наступне:

1 Показано, що одна із найважливіших ознак при перевезенні зерна у морські порти є значна розкиданість станцій вантаження, при чому близько 80% із них, нажаль, не можуть відвантажувати й формувати зернові маршрутні поїзди. Організація відправницької маршрутизації перевезень залізницею зернових вантажів можлива за створення необхідної мережі вузлових станцій

для концентрації вантаження зерна. Доставка зерна на вузлові станції із лінійних й польових елеваторів, які входять до району концентрації вантаження, здійснюється автомобільним транспортом.

2 Запропоновано розташування вузлових станцій й формування на їх базі районів концентрації вантаження зерна. Показано, що вирішення пропозиції є досить складною багатоваріантною й багатофакторною оптимізаційною задачею. З метою визначення потенційно можливих вузлових станцій адаптовано методику, яка базується на методах кластерного аналізу. Із використанням агломеративного алгоритму кластерного аналізу, який базується на стратегії об'єднання Варда й «канберрівській» мірі відмінності об'єктів із множини 192 станцій було виділено 20 станцій для можливої концентрації вантаження зерна.

3 Вирішено також задачу формування районів концентрації навантаження навколо вузлових станцій, яка формалізована як задача багатокритеріальної оптимізації із булевими змінними. Для вирішення такої задачі використано методи теорії множин й цілочисельного лінійного програмування. В підсумковому вирішенні до складу 11 районів концентрації вантаження зерна включено 36 станцій, що за мінімальних додаткових витрат забезпечує максимальний сумарний обсяг вантаження зерна маршрутами не менше 50 тис. вагонів чи близько 3,3 млн. т на рік, що складає близько 15% від загального обсягу перевезень зерна залізницею України.

4 Визначення економічного ефекту від впровадження нової системи районів навантаження зернових вантажів

4.1 Визначення вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях без впровадження пропозицій щодо маршрутизації

В розділі 3 доведено, що ефективне розміщення районів вантаження і раціональна маршрутизація перевезень зерна дозволить зменшити простої вагонів під накопиченням й переробкою на 30 - 35%. Це в свою чергу дозволить знизити простій вагонів на технічній станції, а значить зменшиться і обіг вагона, збільшиться швидкість доставки вантажів. Тобто, така ситуація надасть можливість задовільнити більшу кількість потреб вантажовласників, забезпечить необхідну кількість і якість перевезень. Аналіз обігу вагона-зерновоза за останні 5 років (з 2020 по 2024 роки) наведено на рисунку 4.1 [30]

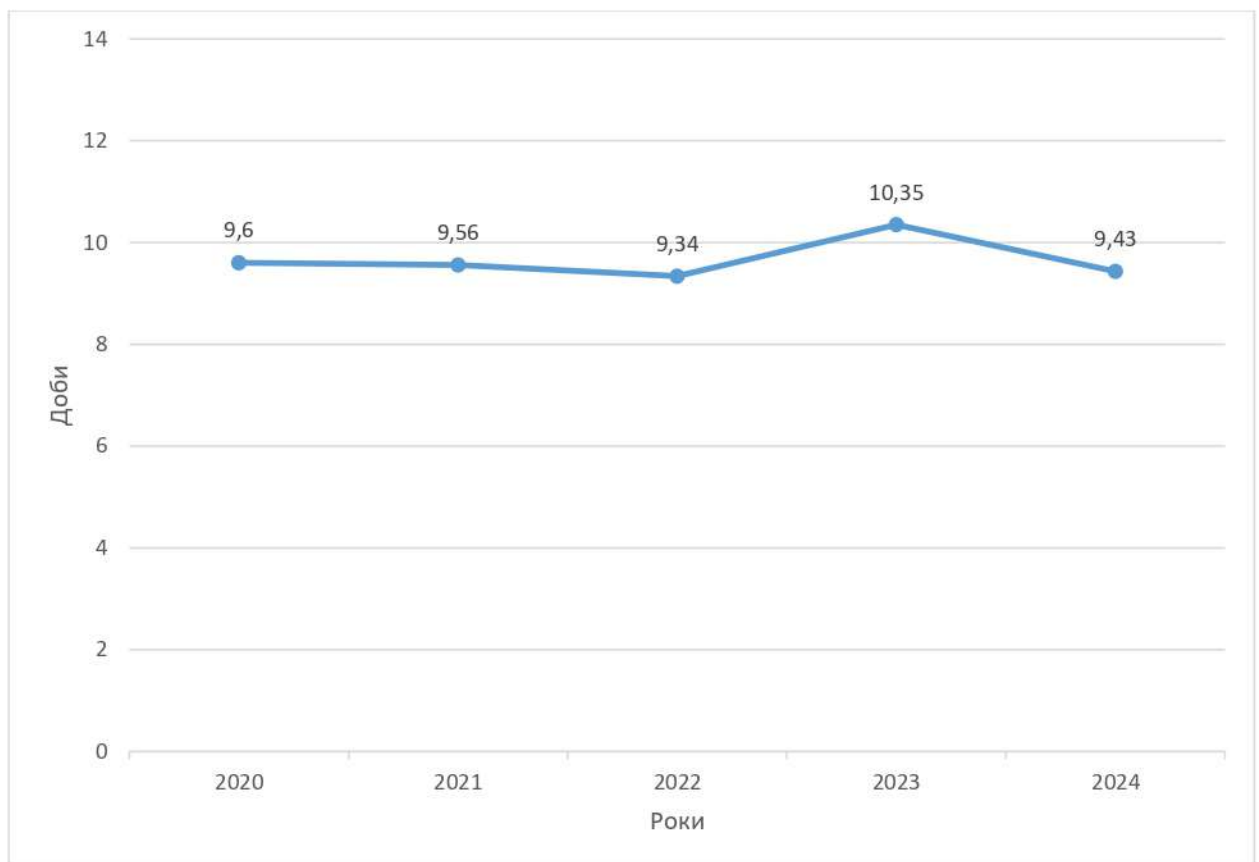


Рисунок 4.1 Середній обіг вагона-зерновоза за 2020-2024 роки

Згідно з відсотковим поелементним аналізом обігу зернового вагона (див. рисунок 3.1), простій завантаженого вагону становить в середньому близько 26% від загального обігу вагону, отже динаміка простоїв вагонів-зерновозів протягом останніх 5 років матиме такий вигляд:

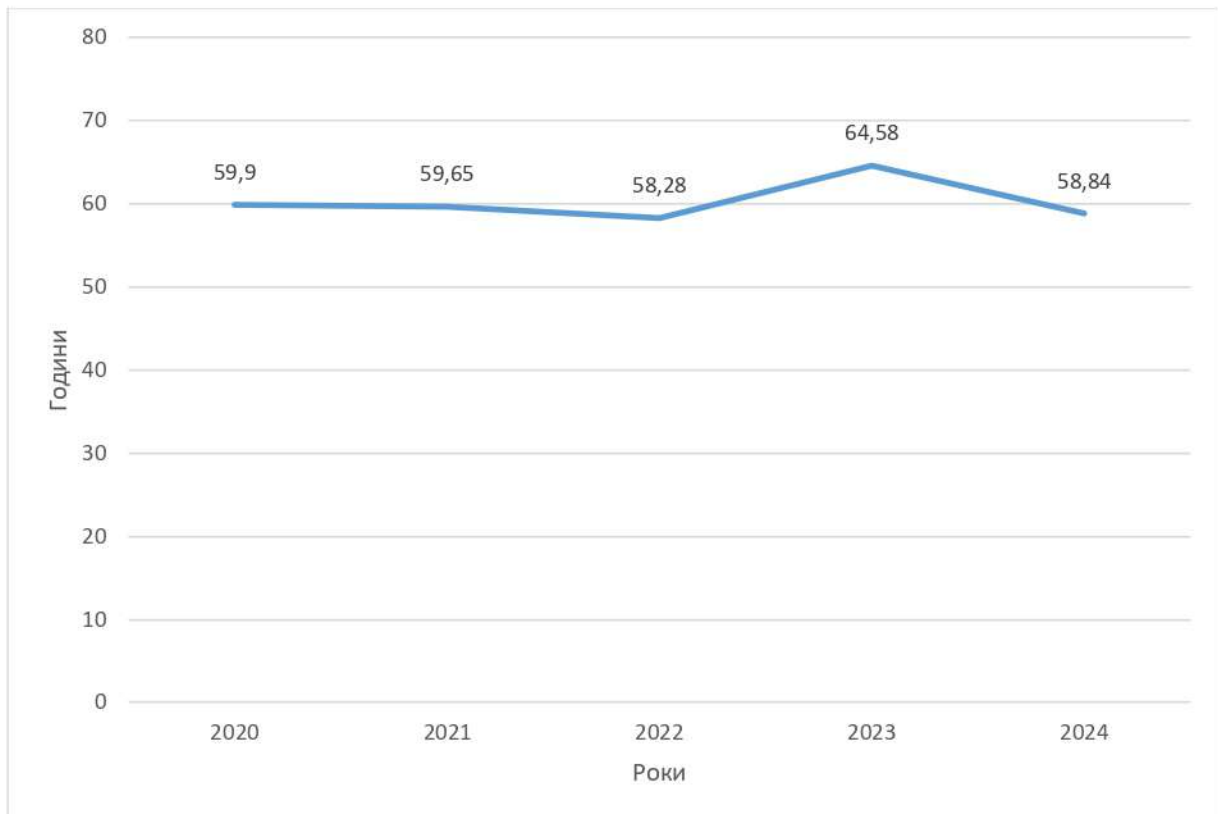


Рисунок 4.2 Середній простій вагона-зерновоза за останні 5 років

Відповідно до наведеної динаміки змін простоїв вагонів-зерновозів та використовуючи метод середніх темпів, спрогнозуємо значення простоїв на майбутні 5 років. Середній темп зростання демонструє, у скільки разів в середньому кожний даний рівень більший (чи менший) за попередній рівень. Середній темп зростання знаходиться з виразу:

$$T = \sqrt[n-1]{\frac{Y_n}{Y_1}} \quad (4.1)$$

$$T = \sqrt[4]{\frac{58,84}{59,90}} = 0,996$$

В подальшому знаходимо зпрогнозовані значення простоїв вагонів-зерновозів на майбутні 5 років:

$$y^{2025} = 58,84 * 0,996 = 58,60 \text{ год}$$

$$y^{2026} = 58,60 * 0,996 = 58,37 \text{ год}$$

$$y^{2027} = 58,37 * 0,996 = 58,14 \text{ год}$$

$$y^{2028} = 58,14 * 0,996 = 57,90 \text{ год}$$

$$y^{2029} = 57,90 * 0,996 = 57,67 \text{ год.}$$

Укрупнені загальні питомі витрати на одну вагоно-годину у русі з урахуванням усіх витрат (у русі та простої) відрізняються по регіональних філіях. За 2022 рік у зв'язку з блокадою морських портів з подальшим відкриттям «зернового коридору» з 01.08.2022 року суттєво зросли обсяги перевезення зерна на експорт через сухопутні переходи на заході країни (з країнами ЄС). Виходячи з цього розглянуто лише ту частину перевезень, коли замаршрутизований вагонопотік з ефективних районів концентрації вантаження зерна на регіональній філії «Південна залізниця» слідував до західних прикордонних передатних станцій. Враховано, що загальна відстань перевезень в середньому склала 1047 км, в тому числі по полігонах регіональної філії «Південна залізниця» - 284 км (27,1%), регіональної філії «Південно-Західна залізниця» - 537 км (51,3%), регіональної філії «Львівська залізниця» - 226 км (21,6%). Отже, є сенс в подальших розрахунках використати середньозважене значення вагоно-години простою на всьому шляху прямування. Воно відповідно буде складати:

$$6,07 * 0,271 + 4,52 * 0,513 + 3,83 * 0,216 = 4,79 \text{ грн за годину.}$$

Загальна кількість вагонів, які завантажуються на станціях для означених районів концентрації, становить 50 212 вагонів (в середньому за рік). Маючи на увазі, що з загального обсягу перевезень зернових залізницею 78% відправлено на експорт, з них 10% через сухопутні переходи (див. п. 2.1), визначимо кількість вагонів, які відправлені з означених районів концентрації через сухопутні переходи: $50\,212 * 0,78 * 0,10 = 3\,917$ вагонів. Виходячи з таких даних обчислюємо зпрогнозовану вартість простоїв на майбутні 5 років:

$$P^{2025} = 58,60 * 4,79 * 3917 = 1099478,39 \text{ грн}$$

$$P^{2026} = 58,37 * 4,79 * 3917 = 1095163,04 \text{ грн}$$

$$P^{2027} = 58,14 * 4,79 * 3917 = 1090847,68 \text{ грн}$$

$$P^{2028} = 57,90 * 4,79 * 3917 = 1086344,70 \text{ грн}$$

$$P^{2029} = 57,67 * 4,79 * 3917 = 1082029,34 \text{ грн}$$

Визначення економічного ефекту проведено за умовою обов'язкового приведення вартісних оцінок результатів й витрат різних років до єдиного для усіх варіантів реалізації проєкту моменту часу - розрахункового року t_p .

Приведення результатів й витрат різних років періоду реалізації проєкту до розрахункового року здійснено множенням їх вартісної оцінки кожного року на коефіцієнт приведення α_t , який відповідає даному року.

На величину економічного ефекту має вплив рівень інфляції, а також ступінь можливого ризику його здійснення. Врахування його здійснено шляхом корегування коефіцієнтів приведення на величину інфляційного очікування та врахування ступеню можливого ризику. Вираз для визначення коефіцієнта приведення має наступний вигляд [31]:

$$\alpha_t^k = \left(\frac{1 + E_n}{1 + I + R} \right)^{tp - tk} \quad (4.2)$$

де E_n – коефіцієнт, який визначає річний банківський відсоток по депозитних внесках (12%), 0,12;

I – очікуваний середньорічний рівень інфляції протягом життєвого циклу проекту в частках одиниці, (7%), 0,07;

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту в частках одиниці. У нашому випадку ступінь ризику середній, отже в подальших розрахунках приймаємо (1%), 0,01;

tp – порядковий номер останнього року розрахункового року;

tk – порядковий номер року, результати і витрати якого приводиться до розрахункового (останнього) року.

За розрахунковий період прийнято 5 років, тобто строк з 2025 до 2029 року. Таким чином, коефіцієнти приведення результатів і витрат різних років до розрахункового року складуть

$$\alpha_{2025} = \left(\frac{1 + 0,12}{1 + 0,07 + 0,01} \right)^{5-1} = \left(\frac{1,12}{1,08} \right)^4 = 1,157;$$

$$\alpha_{2026} = \left(\frac{1 + 0,12}{1 + 0,07 + 0,01} \right)^{5-2} = \left(\frac{1,12}{1,08} \right)^3 = 1,115;$$

$$\alpha_{2027} = \left(\frac{1 + 0,12}{1 + 0,07 + 0,01} \right)^{5-3} = \left(\frac{1,12}{1,08} \right)^2 = 1,075;$$

$$\alpha_{2028} = \left(\frac{1 + 0,12}{1 + 0,07 + 0,01} \right)^{5-4} = \left(\frac{1,12}{1,08} \right)^1 = 1,037;$$

$$\alpha_{2029} = \left(\frac{1 + 0,12}{1 + 0,07 + 0,01} \right)^{5-5} = \left(\frac{1,12}{1,08} \right)^0 = 1,00.$$

Для наочності і зручності подальший розрахунок вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях без впровадження пропозицій щодо маршрутизації зведено у таблицю 4.1.

Отже, загальні річні витрати за 5 років складуть 5874,42 тис. грн.

Таблиця 4.1 Розрахунок вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях без врахування пропозицій щодо маршрутизації

Показники	Роки				
	2025	2026	2027	2028	2029
1	2	3	4	5	6
Середній простій вагону на технічних станціях, год	58,60	58,37	58,14	57,90	57,67
Вартість 1 години простою вагону, грн	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79
Загальні річні витрати для визначених районів при середньому навантаженні 3917 вагонів, тис. грн	1099,48	1095,16	1090,85	1086,34	1082,03
Коефіцієнт приведення до розрахункового року	1,157	1,115	1,075	1,037	1
Загальні річні витрати для визначених районів з урахуванням коефіцієнту приведення, тис. грн	1272,10	1221,10	1172,66	1126,53	1082,03
Загальні річні витрати наростаючим підсумком, тис. грн	1272,10	2493,20	3665,86	4792,39	5874,42

4.2 Визначення вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях та економічного ефекту після впровадження запропонованої концентрації

Згідно з встановленим за результатами досліджень у розділі 3, після впровадження запропонованої концентрації маршрутизації, простій вагона–зерновоза під накопиченням і переробкою зменшиться не менше, ніж на 30 - 35%. Розрахунок економічного ефекту виконано для мінімального з

вищенаведених значень відсотків (тобто 30%). Для наочності і зручності подальші розрахунки виконано в табличній формі та зведені у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 Розрахунок вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях після впровадження запропонованої концентрації маршрутизації

Показники	Роки				
	2025	2026	2027	2028	2029
1	2	3	4	5	6
Середній простій вагону на технічних станціях після впровадження маршрутизації, год	41,02	40,86	40,70	40,53	40,37
Вартість 1 години простою вагону, грн	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79
Загальні річні витрати для визначених районів при середньому навантаженні 3917 вагонів, тис. грн	769,63	766,63	763,63	760,44	757,44
Коефіцієнт приведення до розрахункового року	1,157	1,115	1,075	1,037	1
Загальні річні витрати для визначених районів з урахуванням коефіцієнту приведення, тис. грн	890,46	854,79	820,90	788,58	757,44
Загальні річні витрати наростаючим підсумком, тис. грн	890,46	1745,25	2566,15	3354,73	4112,17

Сумарні загальні річні витрати після впровадження запропонованої концентрації маршрутизації складуть 4112,17 тис. грн.

Отже, загальний економічний ефект за 5 років після впровадження запропонованої концентрації маршрутизації буде становити:

$$5874,42 - 4112,17 = 1762,25 \text{ тис. грн.}$$

Висновок. Розраховано загальний економічний ефект від маршрутизації відправок з запропонованих районів концентрації вантаження зерна. Розрахунками встановлено, що внаслідок реалізації пропозиції щодо запропонованих районів концентрації вантаження зерна зменшиться простій вагона під накопиченням й переробкою на технічних станціях на 30-35 %. Із-за чого суттєво буде зменшено час доставки і обіг вагону. Економічний ефект від впровадження вказаної пропозиції за п'ять наступних років лише при формуванні маршрутів призначенням на експорт через західні сухопутні переходи становитиме 1 762,25 тис. грн.

Висновки

1 Встановлено, що оскільки Україна є аграрною державою, то зернова галузь - одна із ключових галузей економіки. Ця галузь є основою аграрного експорту, тому її варто розглядати базою та джерелом для розвитку більшості галузей агропромислового комплексу. Вона напряму впливає на формування валютних надходжень країни за рахунок експорту (наприклад, 45% у 2022 році), а також на формування значної частини доходу сільськогосподарських виробників. Крім того, зернова галузь проводить регулювання обсягу пропозицій й ціни основних видів продовольства для населення, до того ж регулює стан та тенденції розвитку сільських територій.

Доведено, що залізничний транспорт є основним перевізником зернових України (близько 70% від загального обсягу) та, відповідно до аналізу обсягів перевезень, має тенденцію до їх збільшення. Проте, слід мати на увазі, що конкурентні види транспорту (в першу чергу автомобільний) також мають великий попит на використання та в будь-який момент можуть заволодіти значною часткою ринку перевезень зернових вантажів.

Проаналізовано публікації вітчизняних й закордонних науковців щодо удосконалення вантажної і комерційної роботи під час доставки зернових вантажів й виявлено, що не знайдено повного вирішення питання щодо економічної ефективності концентрації й формування маршрутів з зерновими вантажами в конкретних умовах, зокрема щодо регіональної філії «Південна залізниця».

2. Встановлено, що експорт зерна з України проходить переважно водними шляхами, частка яких в обсягах перевезення після спаду з початком введення військового стану в подальшому почала невпинно нарощуватися (за 2023 рік – до 78,0%, за 2024 рік – до 88,3%). Експорт зерна через сухопутні переходи (залізниця та автотранспорт) має обернену тенденцію і поступово втрачає частку в експортному потенціалі зернових вантажів (22,0% - за 2023

рік, 11,7% - за 2024 рік) при беззаперечному лідерстві залізничного транспорту (в 3...4 рази перевищує обсяги експорту зерна автотранспортом). Залізниця залишається лідером і в підвезенні експортного зерна до портів України. Активне нарощування експортних можливостей АПК України є нагальним пріоритетом для держави, а залізничний транспорт повинен вчасно адаптуватись до викликів в цій сфері, підвищуючи, в першу чергу, ефективність маршрутизації перевезення зернових вантажів.

Доведено, що ефективність від маршрутизації перевезень в сучасних умовах полягає саме в тому, що вона забезпечує швидке просування вантажів із пунктів виробництва у пункти споживання, прискорює обіг вагонів, зменшує простої вагонів на технічних станціях, скорочує потреби у вагонному парку, зменшує роботу станцій з переробки поїздів, забезпечує зростання швидкості доставки вантажів, знижує собівартість перевезення та й створює умови забезпечення схоронності вантажів.

Визначено, що переміщення маршрутних поїздів для залізниці, потребують значно менше витрат, адже відпадає необхідність переробки вказаних вагонопотоків на технічних станціях. Запровадження АТ «Укрзалізниця» гнучкої системи знижок на маршрутні перевезення надасть відправникам додаткові стимули і для розвитку відправницької маршрутизації, так і для оновлення власного рухомого складу й інфраструктури.

3. Показано, що одна із найважливіших ознак при перевезенні зерна у морські порти є значна розкиданість станцій вантаження, при чому близько 80% із них, нажаль, не можуть відвантажувати й формувати зернові маршрутні поїзди. Організація відправницької маршрутизації перевезень залізницею зернових вантажів можлива за створення необхідної мережі вузлових станцій для концентрації вантаження зерна. Доставка зерна на вузлові станції із лінійних й польових елеваторів, які входять до району концентрації вантаження, здійснюється автомобільним транспортом.

Запропоновано розташування вузлових станцій й формування на їх базі районів концентрації вантаження зерна. Показано, що вирішення пропозиції є досить складною багатоваріантною й багатофакторною оптимізаційною задачею. З метою визначення потенційно можливих вузлових станцій адаптовано методику, яка базується на методах кластерного аналізу. Із використанням агломеративного алгоритму кластерного аналізу, який базується на стратегії об'єднання Варда й «канберрівській» мірі відмінності об'єктів із множини 192 станцій було виділено 20 станцій для можливої концентрації вантаження зерна.

Вирішено також задачу формування районів концентрації навантаження навколо вузлових станцій, яка формалізована як задача багатокритеріальної оптимізації із булевими змінними. Для вирішення такої задачі використано методи теорії множин й цілочисельного лінійного програмування. В підсумковому вирішенні до складу 11 районів концентрації вантаження зерна включено 36 станцій, що за мінімальних додаткових витрат забезпечує максимальний сумарний обсяг вантаження зерна маршрутами не менше 50 тис. вагонів чи близько 3,3 млн. т на рік, що складає близько 15% від загального обсягу перевезень зерна залізницею України.

4. Розраховано загальний економічний ефект від маршрутизації відправок з запропонованих районів концентрації вантаження зерна. Розрахунками встановлено, що внаслідок реалізації пропозиції щодо запропонованих районів концентрації вантаження зерна зменшиться простій вагона під накопиченням й переробкою на технічних станціях на 30-35 %. Із-за чого суттєво буде зменшено час доставки і обіг вагону. Економічний ефект від впровадження вказаної пропозиції за п'ять наступних років лише при формуванні маршрутів призначенням на експорт через західні сухопутні переходи становитиме 1 762,25 тис. грн.

Таким чином, за допомогою організаційно-технічних методів, без значних капіталовкладень відбудеться покращення експлуатаційних показників використання залізничного рухомого складу.

Список використаних джерел

- 1 Світове виробництво зернових культур у 2022/23 МР може скоротитися більше ніж на 15 млн т. – URL: <https://www.apk-inform.com/uk/news/1527388/> (дата звернення 10.04.2025).
- 2 Україна стала другим в світі експортером зерна – URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3176429-ukraina-stala-drugim-u-sviti-eksporterom-zerna.html> (дата звернення 10.04.2025).
- 3 Вантажні перевезення "Укрзалізниці" в 2024 році. – URL: https://cfts.org.ua/infographics/vantazhni_perevezennya_ukrzaliznitsi_v_2024_rotsi?fbclid=IwY2xjawIQZWhleHRuA2FlbQIxMQABHcscBrNA66L2cGW36rjEwITQzoB5VGGfRhLfdm3ODuvPY0uq95PjKBCx8Q_aem_txskLB9JFhPGpNdFwSHj-Q (дата звернення 10.04.2025).
- 4 Статистика «зернового коридору». – URL: <https://uga.ua/statistika-zernovogo-koridoru/> (дата звернення 11.04.2025).
- 5 Стан зовнішньої торгівлі продуктами АПК. – URL: <https://uga.ua/eksportni-pokazniki/> (дата звернення 11.04.2025).
- 6 Проблеми та перспективи аграрної галузі в 2025 році – URL: <https://uga.ua/meanings/problems-ta-perspektyvy-agrarnoyi-galuzi-v-2025-rotsi-interv-yu-ministra-agrarnoyi-polityky-ta-prodovolstva/> (дата звернення 11.04.2025).
- 7 Центр транспортних стратегій. – URL: https://cfts.org.ua/imglib/_newimage/infographics/144426/1058.png (дата звернення 12.04.2025).
- 8 Ринок експорту в Україні продовжує зростати попри війну з РФ – URL: <https://unn.ua/news/rynok-eksportu-v-ukraini-prodovzhuie-zrostaty-popry-viinu-z-rf-svyrydenko> (дата звернення 12.04.2025).
- 9 Сахно В.П., Поляков В.М., Дехтяренко Д.О. Теоретичні засади використання змішаного методу багатокритеріального аналізу для

маршрутизації перевезень вантажів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2019. Вип. 188. С.50 - 57.

10 Бауліна Г.С., Богомазова Г.Є., Мішков В.С. Розробка моделі формування ступінчатих маршрутів із зерновими вантажами на залізницях України. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2019. Вип. 187. С. 42 - 48.

11 Арсененко Д.В. Удосконалення організації перевезень зернових вантажів залізничними ступінчастими маршрутами. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2019. Вип. 184. С.92 - 97.

12 Тарасов К.О., Турчина Є.О., Гончарук О.Л. Тарифні аспекти в умовах проведення експерименту з впровадження приватної тяги на залізницях України. *Збірник наукових праць студентів та магістрів УкрДУЗТ*, вип. 18 (2020), с. 281-293.

13 Dolinayová A. Methodology for the Tariff Formation in Railway Freight Transport. *International journal of maritime science & technology*. "Naše more" 65(4)/2018., Р. 297-304

14 Запара В.М., Вотріна В.А., Логвиненко Т.В. Удосконалення індексації тарифів на вантажні залізничні перевезення в межах України. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 164. С. 47-58.

15 Обсяг перевезення зерна і продуктів перемолу залізницею в 2024 році – URL: <https://zernovoz.ua/blog/monitoring-1/post/obsiag-perevezennia-zerna-i-produktiv-peremolu-zaliznitseiu-v-2024-rotsi-168> (дата звернення 12.04.2025).

16 Загальна структура станцій навантаження зерна у 2024 році. *Газета «Магістраль»* – URL: <https://info.uz.ua/infografika/zagalna-struktura-stantsiy-navantazheniya-zerna> (дата звернення 13.04.2025).

17 Аграрне інформаційне агентство – URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/obmezenna-ekspluatacii-vagoniv-povinho-vidbuvatisa-viklucno-za-tehnicnim-standom-uz> (дата звернення 13.04.2025).

18 Боровой Н.С. Маршрутизация перевезень вантажів: *монографія*. Київ: Транспорт України. 1978. 216 с.

19 Козаченко Д.М., Верлан А.І., Вернигора Р.В. Підвищення ефективності управління приватним вагонним парком за рахунок відправницької маршрутизації порожніх вагонопотоків. *Залізничний транспорт України*. 2012. №6. С. 35-37.

20 Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України: №1028–ЦЗ. Затв. Наказом Укрзалізниці 29.12.2004. Київ: ТОВ «Швидкий рух», 2005. 100 с.

21 Тарифне керівництво №4 залізниць України. Київ: Транспорт України, 1997. 194 с.

22 Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги. *Тарифне керівництво №1*. Київ: ТОВ «Інпрес», 2009. 200 с.

23 Козаченко Д.М., Коробйова Р.Г., Рустамов Р.Ш. Удосконалення технічного забезпечення та технологій експортних перевезень зернових вантажів в Україні. *Вісник Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету*. 2015. №4. С. 121-127.

24 Kozachenko D.M., Vernigora R.V., Rustamov R.S. Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine. *Наука та прогрес транспорту: Вісник ДНУЗТ*, Дніпро: ДНУЗТ, 2017. №2(68). С. 56-70.

25 Дюран Б., Оделл П. Кластерний аналіз: навчальний посібник. Київ: Книга за вимогою, 2012. 128 с.

26 Мандель І.А. Кластерний аналіз: *монографія*. Київ: Фінанси та статистика, 1988. 215 с.

27 Кисельова Е.М., Коряшкіна Л.С. Моделі і методи рішення безперервних задач оптимального розбивання множин: лінійні, нелінійні, динамічні задачі: *монографія*. Київ: Наукова думка, 2013. 607 с.

28 Корбут А.А., Фінкельштейн Ю.Ю. Дискретне програмування. Київ: Вища школа, 1969. 368 с.

29 Баланов В.О. Аналіз факторів, які впливають на забезпечення руху вантажних поїздів за розкладом. *Транспортні системи і технології перевезень*:

збірник наукових праць Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ, 2015. Вип. 10. С. 5-9.

30 Діаграма обігу вагона. – URL: https://biz.censor.net/resonance/3146735/pochemu_rastet_vremya_oborota_vagonov_uz (дата звернення: 13.04.2025).

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

32 Запара В.М., Запара Я.В., Беляєв Я.А., Кравцов О.С. Шляхи покращення взаємодії вантажовласників-експортерів з залізницею України. *Тези П'ятої всеукраїнської науково-практичної конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху»* (Запоріжжя, 12-13 березня 2024 р.) Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка». С. 25-26.

33 Запара В.М., Беляєв Я.А., Буваліна А.І., Кравцов О.С. Вплив інформатизації технологічних процесів перевезень на технічну експлуатацію залізниці. *Тези XII міжнародної науково-практичної конференції «Людина, суспільство, комунікативні технології»*: (Харків, 25-26 жовтня 2024 р.). Харків: УкрДУЗТ. с. 162-164.

34 Запара В.М., Беляєв Я.А., Кравцов О.С. Удосконалення сфери послуг клієнтів на ринках ЄС міжнародним підрозділом АТ «Укрзалізниця». *Тези 5-ої міжнародної науково-практичної конференції «Інтелектуальні транспортні технології»*: (Харків, 25-27 листопада 2024 р., Харків). Харків: УкрДУЗТ. С. 172-174.

35 Беляєв Я., Воронкін В. Тарифоутворення на вантажні перевезення залізницею як інструмент впливу на ринок транспортних послуг. *Тези 84-ї студентської наукової конференції УкрДУЗТ*: (Харків, 11-12 грудня 2024 р.) Харків: УкрДУЗТ. с.238-239.

36 Методичний посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській навчальній звітності. Харків: УкрДАЗТ. 2014. 55 с.