

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра управління вантажною і комерційною роботою

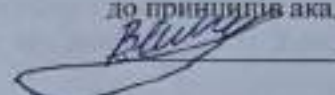
УДОСКОНАЛЕННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЕКСПОРТНОЇ ПРОДУКЦІЇ АПК
ЗАЛІЗНИЦЕЮ УКРАЇНИ

Пояснювальна записка і розрахунки
до випускної кваліфікаційної роботи

УПЕПА.200.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 221-ОПУТ-Д24
спеціальності 275 / 275.02

(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

 Владислав ШАТАЛІН

Керівник: професор, канд. техн. наук
Віктор ЗАПАРА

Рецензент: професор, д-р. техн. наук
Андрій ПРОХОРЧЕНКО

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 18 слайдів презентації, 85 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 24 рисунки, 12 таблиць, 35 літературних джерел.

Ключові слова: ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ЕКСПОРТНА ПРОДУКЦІЯ, ПЕРЕВЕЗЕННЯ, КОНЦЕНТРАЦІЯ, МАРШРУТИЗАЦІЯ

Об'єктом дослідження є організація транспортування експортної продукції АПК залізничним транспортом.

Метою дослідження є вдосконалення організації перевезень експортної продукції АПК залізницею в Україні шляхом підвищення ефективності експлуатаційних показників через оптимізацію структури районів концентрації вантаження експортної продукції.

У кваліфікаційній роботі показано, що підвищення рівня організації відправницької маршрутизації перевезень залізницею продукції АПК є нагальною необхідністю і можлива за створення певної мережі вузлових станцій для концентрації вантаження продукції АПК. Наразі маршрутизовано в Україні лише 28% таких відправок до портів (в США – 95%).

Запропоновано розташування вузлових станцій та формування на їх базі районів концентрації вантаження продукції АПК. 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. Задачу формалізовано як задачу багатокритеріальної оптимізації із булевими змінними.

Розраховано загальний економічний ефект від маршрутизації відправок з запропонованих районів концентрації вантаження продукції АПК. Розрахунками встановлено, що внаслідок реалізації пропозиції щодо запропонованих районів концентрації вантаження експортної продукції АПК зменшиться простій вагона під накопиченням й переробкою на технічних станціях на 30-35 %.

ABSTRACT

This qualifying work includes 18 presentation slides, 85 sheets of A4 format explanatory note, which includes 24 figures, 12 tables, 35 literary sources.

Keywords: IMITATION MODEL, EXPORT PRODUCTS, TRANSPORTATION, CONCENTRATION, ROUTING

The object of the study is the organization of transportation of agricultural export products by rail.

The purpose of the study is to improve the organization of transportation of agricultural export products by rail in Ukraine by increasing the efficiency of operational indicators through optimizing the structure of areas of concentration of loading of export products.

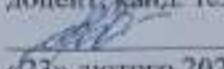
The qualification work shows that increasing the level of organization of dispatch routing of rail transportation of agricultural products is an urgent need and is possible by creating a certain network of hub stations for concentrating the loading of agricultural products. Currently, only 28% of such shipments are routed to ports in Ukraine (in the USA - 95%).

The location of the nodal stations and the formation of areas of concentration of loading of agricultural products based on them are proposed. It is shown that the solution of the proposal is a rather complex multivariate and multifactor optimization problem. In order to determine potentially possible nodal stations, a methodology based on cluster analysis methods is adapted. The problem is formalized as a multi-criteria optimization problem with Boolean variables.

The overall economic effect of routing shipments from the proposed areas of concentration of loading of agricultural and industrial products has been calculated. The calculations have established that as a result of implementing the proposal regarding the proposed areas of concentration of loading of agricultural export products, the downtime of the wagon under accumulation and processing at technical stations will be reduced by 30-35%.

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
«23» лютого 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шаталіну Владиславу Віталійовичу

1 Тема «Удосконалення перевезення експортної продукції АПК залізницею України»

керівник Запара Віктор Мефодійович, канд. техн. наук, професор
затверджені розпорядженням по факультету Управління процесами
перевезень від 23 лютого 2026 року №06/26

2 Строк подання студентом закінченої роботи– 15 червня 2026 року

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

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

1. Аналіз стану та перспектив перевезення експортної продукції АПК
2. Дослідження динаміки експорту продукції АПК з України за умов військового стану і ефективності маршрутизації експортної продукції АПК залізничним транспортом
3. Формування імітаційної моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів і мережі вузлових станцій
4. Визначення економічного ефекту щодо запропонованої системи перевезення експортної сільськогосподарської продукції залізницею

5 Перелік графічного матеріалу: Обсяги перевалки експортної продукції АПК в портах України за 2014-2025 роки. Напрямиси вантажних перевезень та вантажна база за видами вантажів АТ «Укрзалізниця» за 2025 рік. Загальні помісячні обсяги експортної продукції АПК з України всіма видами транспорту за 2023-2024 роки. Частки сухопутних видів транспорту в загальному експорті продукції АПК з України за 2023-2024 роки. Поелементний аналіз обігу вагона-зерновоза. Формування вихідних даних для вирішення задачі. Формування системи обмежень. Можливі райони концентрації навантаження продукції АПК. Цільова функція для визначення ефективних районів навантаження продукції АПК. Визначені ефективні райони навантаження. Сумарний економічний ефект за 5 років.

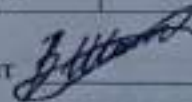
6 Консультанти окремих розділів

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 23 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Аналіз стану та перспектив перевезення експортної продукції АПК	13.04.26 р.	Виконано
2 Дослідження динаміки експорту продукції АПК з України за умов військового стану і ефективності маршрутизації експортної продукції АПК залізничним транспортом	02.05.26 р.	Виконано
3. Формування імітаційної моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів і мережі вузлових станцій	24.05.26 р.	Виконано
4 Визначення економічного ефекту щодо запропонованої системи перевезення експортної сільськогосподарської продукції залізницею	08.06.26 р.	Виконано
5 Оформлення роботи, отримання рецензії	15.06.26 р.	Виконано

Студент  Владислав ШАТАЛІН

Керівник  Віктор ЗАПАРА

Зміст

Вступ	8
1. Аналіз стану та перспектив перевезення експортної продукції АПК	11
1.1 Експортний потенціал продукції агросектору України	11
1.2 Транспортування експортної продукції АПК перевізником АТ «Укрзалізниця»	19
1.3 Аналіз публікацій з проблематики перевезення вантажів АПК залізницями	25
2. Дослідження динаміки експорту продукції АПК з України за умов військового стану і ефективності маршрутизації експортної продукції АПК залізничним транспортом	29
2.1 Дослідження динаміки експорту продукції АПК з України під час військового стану	29
2.2 Дослідження ефективності маршрутизації залізничних перевезень експортних вантажів АПК	43
3 Формування імітаційної моделі розташування експортно-орієнтованої мережі елеваторів і мережі вузлових станцій	50
3.1 Концентрація вантажопотоків на вузлових елеваторах	50
3.2 Визначення районів концентрації навантаження продукції АПК	53
3.3 Визначення вузлових станцій для навантаження маршрутів	57
3.4 Визначення районів можливої концентрації вантажних операцій з вантажами продукції АПК	63
3.5 Визначення ефективних районів концентрації навантаження продукції АПК	65

					УПЕПА.200.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Головк.	Дата	Удосконалення перевезення експортної продукції АПК залізницею України	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Шугалін			15.01.16				
Перевішив	Запапа			15.01.16			6	85
Реценз.						УкрДУЗТ		
Н. Контр.	Запапа			15.01.16				
Затверд.	Ковальков			15.01.16				

4 Визначення економічного ефекту щодо запропонованої системи перевезення експортної сільськогосподарської продукції залізницею	71
4.1 Визначення вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях без впровадження пропозицій щодо маршрутизації	71
4.2 Визначення вартості простою вагонів-зерновозів на технічних станціях та економічного ефекту після впровадження запропонованої концентрації	76
Висновки	79
Список використаних джерел	82

					УПЕПА.200.00.00.000 ПЗ	Арх.
Зам.	Арх.	По докум.	Голов.	Дат.		7

Експортні можливості держави є індикатором її конкурентоспроможності у світі, забезпечують необхідні фінансові ресурси для внутрішньої розбудови. В Україні стратегічними експортними товарами є сільськогосподарська продукція АПК і продовольчі товари. За останні роки Україна нарощувала 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 чотири останні роки (з березня 2022 по березень 2026 року) – 229,9 млн т. В грошовому еквіваленті експорт сільськогосподарської продукції АПК і продовольчих товарів становив, наприклад, у 2025 році 55,8% від загального експорту країни (22,5 млрд дол. США від загального 40,4 млрд дол. США).

Актуальність теми. Україна залишається одним із світових лідерів поставок сільськогосподарської продукції. Однак частка експорту через сухопутні переходи за останні роки знижується із-за більш активної роботи портів, в т.ч. знизився експорт залізницею з 16,7% за 2023 рік до 9,5% сільськогосподарської продукції за 2024 рік [5]. Не змінилась тенденція і в 2025 році – 8,9%. Отже, беззаперечно важливим є організація максимально ефективної системи доставки сільськогосподарської продукції саме залізницею, яка залишається головним видом транспорту при доставці продукції АПК до портів України.

На сьогодні український АПК фактично став донором логістичної галузі. Значну частину прибутків від експорту сільськогосподарської продукції отримують 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.

Останнім часом АТ «Укрзалізниця» активізувала політику підвищення рівня маршрутизації власних перевезень, зокрема і для сільськогосподарської продукції (наразі маршрутизовано лише 28% таких відправок до портів). Пріоритет у наданні порожніх вагонів 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 експортної продукції АПК залізничним транспортом.

Предмет дослідження - удосконалення перевезення експортної продукції АПК залізницею України.

Метою даної кваліфікаційної роботи є вдосконалення організації перевезень експортної продукції АПК залізницею в Україні шляхом підвищення ефективності експлуатаційних показників через оптимізацію структури районів концентрації вантаження експортної продукції.

Щоб досягти вказану мету необхідно вирішити наступні завдання:

- вивчити стан та перспективи перевезення експортної продукції АПК залізницею України;
- провести дослідження динаміки експорту продукції АПК з України за умов військового стану і ефективності маршрутизації експортної продукції АПК 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 експортної сільськогосподарської продукції залізницею.

Методи використані в роботі. При аналізі системи експорту сільськогосподарської продукції використано: теорію нечітких множин і математичну статистику, системний аналіз. Райони вантаження

сільськогосподарської продукції й вузлові станції, де формуватимуться маршрутні поїзди, встановлено за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації, теорії множин та кластерного аналізу. Для визначення економічного ефекту був задіяний метод середніх темпів.

Елементи наукової новизни. Метод вибору вузлових станцій та районів концентрації вантаження сільськогосподарської продукції 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 конкретного регіону.

Публікації. Опубліковано тези доповіді: «Інтероперабельність та інтелектуальний моніторинг інфраструктури і рухомого складу залізниці України» за матеріалами Шостої всеукраїнської науково-практичної конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (Запоріжжя, 20-21 березня 2025 р.) м. Запоріжжя [32], «Експлуатаційні та правові аспекти інтероперабельності залізничного транспорту України за військового стану» за матеріалами 38-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (9-10 жовтня 2025 року) м. Харків [33], а також «Стан і перспективи ринку оренди та оперування залізничними вагонами в Україні» за матеріалами 85-ї студентської наукової конференції УкрДУЗТ: (Харків, 10-11 грудня 2025 р.) м. Харків [34].

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи складає 85 сторінок. Список використаних джерел складає 35 найменувань.

1. Аналіз стану та перспектив перевезення експортної продукції АПК

1.1 Експортний потенціал продукції агросектору України

Агропромисловий комплекс є однією з провідних складових економіки України та формує основу аграрного експорту. Сільськогосподарська продукція відіграє визначальну роль у розвитку більшості галузей АПК, оскільки значною мірою обумовлює обсяги валютних надходжень від експорту та забезпечує вагомий частку доходів підприємств комплексу. Нині, зокрема, зернове виробництво здійснює суттєвий вплив на формування цін і обсягів пропозиції основних продуктів харчування для населення, а також на стан і тенденції розвитку сільських територій.

Світове споживання сільськогосподарської продукції характеризується поступовим щорічним зростанням. У 2021/22 маркетинговому році сукупний обсяг виробництва зерна досяг майже 2,8 млрд т. Однак у 2022/23 МР вперше за тривалий період зафіксовано незначне зниження — до 2,784 млрд т. Обсяг світового виробництва пшениці у сезоні 2022/23 МР склав 770,8 млн т, тоді як у попередньому періоді цей показник становив 776,8 млн т. Виробництво фуражних зернових досягло 1,494 млрд т (порівняно з 1,503 млрд т раніше), а рису — 519,5 млн т (520,8 млн т у 2021/22 МР) [1]. Водночас спостерігалось скорочення обсягів світової торгівлі зерновими культурами до одного з найнижчих рівнів за останні роки — 464 млн т, що відповідає зниженню на 2,6% у річному вимірі. Зокрема, обсяг торгівлі пшеницею зменшився 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].

У сезоні 2024–2025 років обсяги світової торгівлі сільськогосподарською продукцією скоротилися до найнижчого рівня з періоду 2019–2020 років. Валовий обсяг виробництва продукції АПК у світі у 2024 році становив 2,849 млрд т, що на 0,3% менше показника 2023 року.

Україна посідає важливе місце на світовому ринку сільськогосподарської продукції, виступаючи одним із провідних гарантів глобальної продовольчої безпеки. Держава володіє значним потенціалом для подальшого нарощування обсягів виробництва та експорту сільськогосподарських культур. Зокрема, за результатами 2019–2020 маркетингового року Україна зайняла друге місце у світі за сукупним обсягом експорту зернових, поступившись лише Сполученим Штатам Америки [2].

У 2022 році обсяги виробництва сільськогосподарської продукції в Україні зменшилися на 37% порівняно з рекордними показниками 2021 року та становили близько 53,9 млн т. Таке скорочення було зумовлене сукупністю чинників, зокрема тимчасовою окупацією частини територій, інтенсивними бойовими діями, замінуванням звільнених земель, зниженням рівня врожайності порівняно з попереднім роком, а також несприятливими погодними умовами восени, які ускладнили й суттєво затягнули процес збирання врожаю [3].

Обсяги експорту з України зернобобових, зерна та борошна за 2021/22 й 2022/23 МР показано у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Обсяги експорту зерна, зернобобових і борошна Україною у 2021/22 і 2022/23 маркетингових роках

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

Понад чотири роки Україна перебуває у стані війни, що суттєво впливає на рівень соціально-економічного розвитку держави та ускладнює здійснення міжнародної торгівлі. У період з 01.08.2022 по 16.07.2023 функціонував так званий «зерновий коридор». За цей час загальні обсяги експорту аграрної продукції через зазначений механізм становили 32 856 086 т, зокрема кукурудзи — 17 014 201 т, пшениці — 8 893 948 т, соняшнику — 305 405 т, олії — 1 749 116 т; загалом було відправлено 1004 судна [4].

Структура товарна та географія експорту за цей період візуалізована на рисунку 1.1.

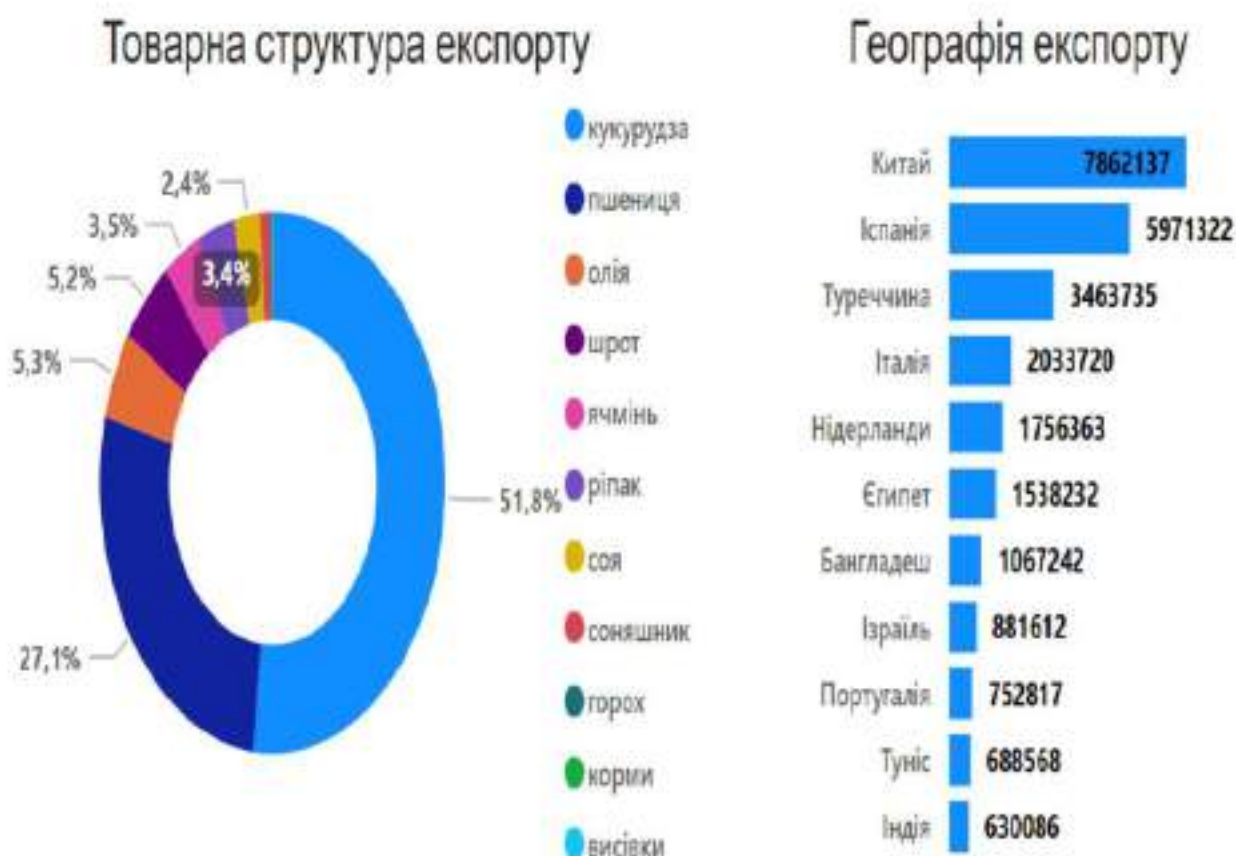


Рисунок 1.1 Експорт України зерновим коридором із 01.08.2022 року по 16.07.2023 року (товарна структура й географія)

Обсяг зовнішньої торгівлі сільськогосподарською продукцією АПК у 2024 році представлено на рисунку 1.2, який відображає сумарний перетин

кордону за окремими видами продукції. Частка кожного виду продукції у відсотках, що перетнула державний кордон, наведена на рисунку 1.3.

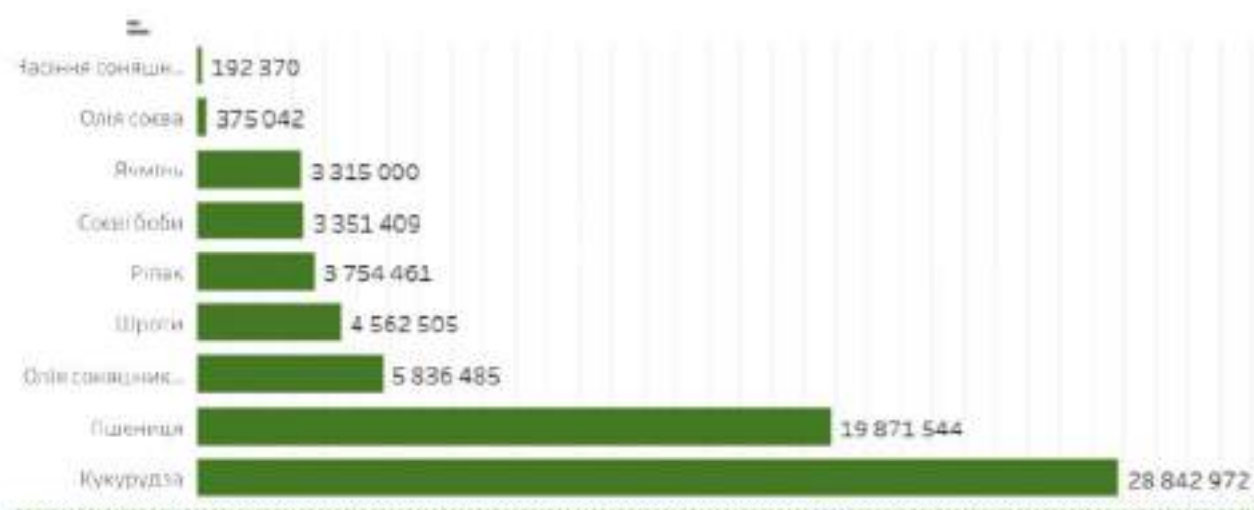


Рисунок 1.2 Перетин кордону (сукупний) України (експорт) по видах продукції АПК у 2024 році

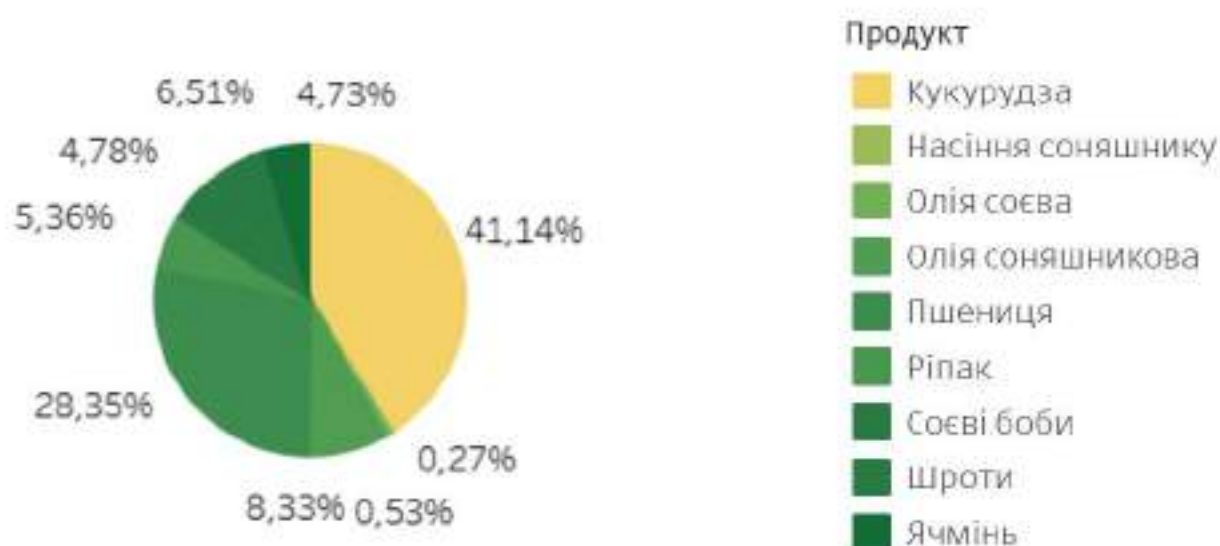


Рисунок 1.3 Частка основних видів продукції АПК, яка переміщена через кордон України (експорт) протягом 2024 року

Відповідні показники за 2025 рік наведено на рисунку 1.4 (сукупний перетин кордону за видами продукції), а частка видів продукції (у відсотках), що перетнула кордон – на рисунку 1.5.

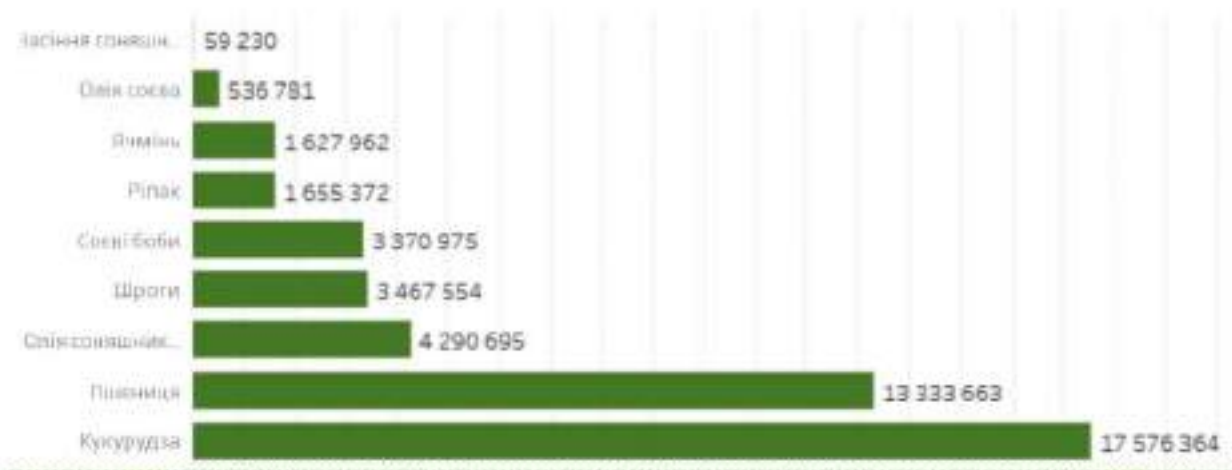


Рисунок 1.4 Сукупне перетинання кордону України (експорт) за видами продукції АПК протягом 2025 року

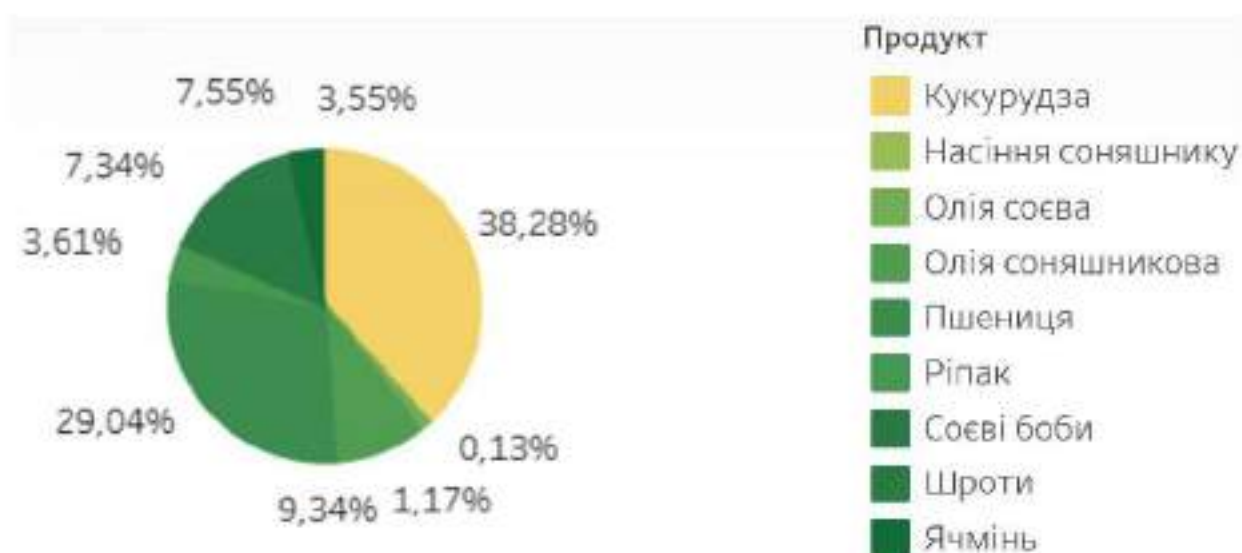


Рисунок 1.5 Частка видів загальної продукції АПК, що перетнула кордон України (експорт) за 2025 рік

З рисунків 1.2 та 1.4 видно, що за 2025 рік допущено значне зниження експорту сільгосппродукції АПК України практично за всіма позиціями (крім соєвих бобів і олії соєвої), причому найбільш суттєве зниження мало місце для лідируючих вантажів (кукурудзя з 28,8 до 17,6 млн т (на 39,1%), пшениця з 19,9 до 13,3 млн т (на 32,9%)). Частка видів продукції АПК, яка перетнула кордон України (експорт) у 2025 році в порівнянні з попереднім роком суттєво

не змінилась: кукурудза втратила 2,86%, пшениця додала 0,69%, максимально зріс експорт соєвих бобів – на 2,56% (див. рисунки 1.3 та 1.5).

Експорт сільгосппродукції з України протягом 2024 року - 70 млн т, а за період із 31.03.2022 року і по 28.02.2025 року - 179 267 504 т, у тому числі видами транспорту: портами – 79,4%, залізницею – 14,5 %, автомобільним транспортом – 5,1%, поромами – 1,0% [5]. Експорт сільгосппродукції з України за 2025 рік склав 45,9 млн т, а за період з 31.03.2022 року по 31.03.2026 року - 229 864 999 т, в тому числі за видами транспорту за 2025 рік: через порти – 90,9% (зростання частки на 11,5% в порівнянні з попереднім роком), залізницею – 7,1 % (зниження на 7,4%, більше, ніж вдвічі), автотранспортом – 1,75% (зниження на 3,35%, практично втричі), поромом – 0,25% (зниження на 0,75%, практично в 4 рази). Візуалізація експорту сільгосппродукції з України за видами транспорту у 2025 році наведена на рисунку 1.6.

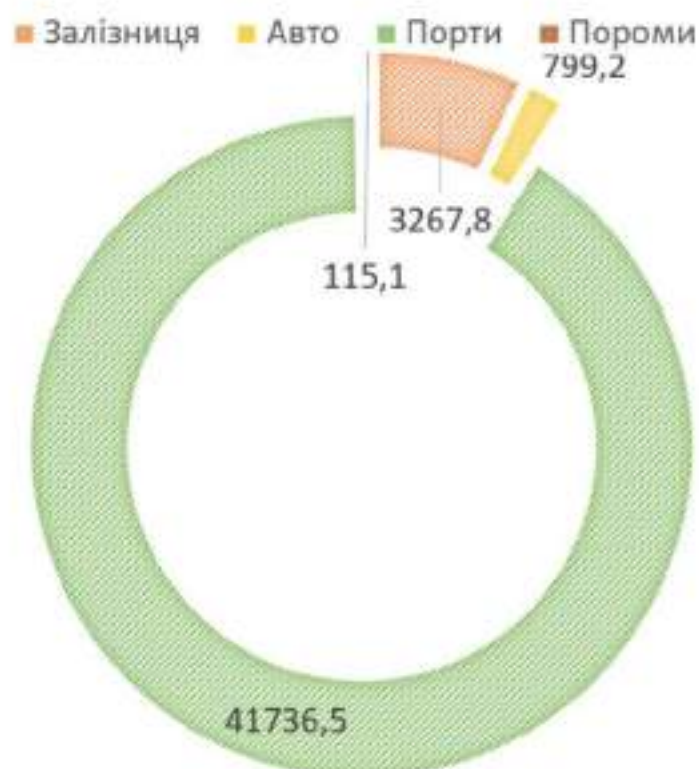


Рисунок 1.6 Експорт сільськогосподарської продукції АПК з України за видами транспорту у 2025 році (тис. т)

Урожай зернових в Україні у період 2025/26 маркетингового року прогнозується близько 55-65 млн. т, експорт зернових культур – 40-50 млн т. Урожай олійних перевищить минулорічний й очікується близько 24 млн т.

У березні 2025 року Україна експортувала 5,4 млн т продукції АПК, що на 9,8% перевищує аналогічний показник попереднього місяця. Порівняно з лютим, зростання спостерігалось у всіх групах товарів, при цьому найбільший приріст зафіксовано серед продуктів переробки олійних рослин — зокрема, макухи та олій, обсяги експорту яких збільшилися на 42% та 29% відповідно. Що стосується зернових культур, також спостерігається позитивна динаміка: експорт склав 3,6 млн т (структура: кукурудза — 66%, пшениця — 31%, ячмінь — 2%), що на 5% більше порівняно з попереднім місяцем [5]. Динаміка експорту основних агропродуктів Україною за період листопад 2024 – березень 2025 року (тис. т) наведена на рисунку 1.7.

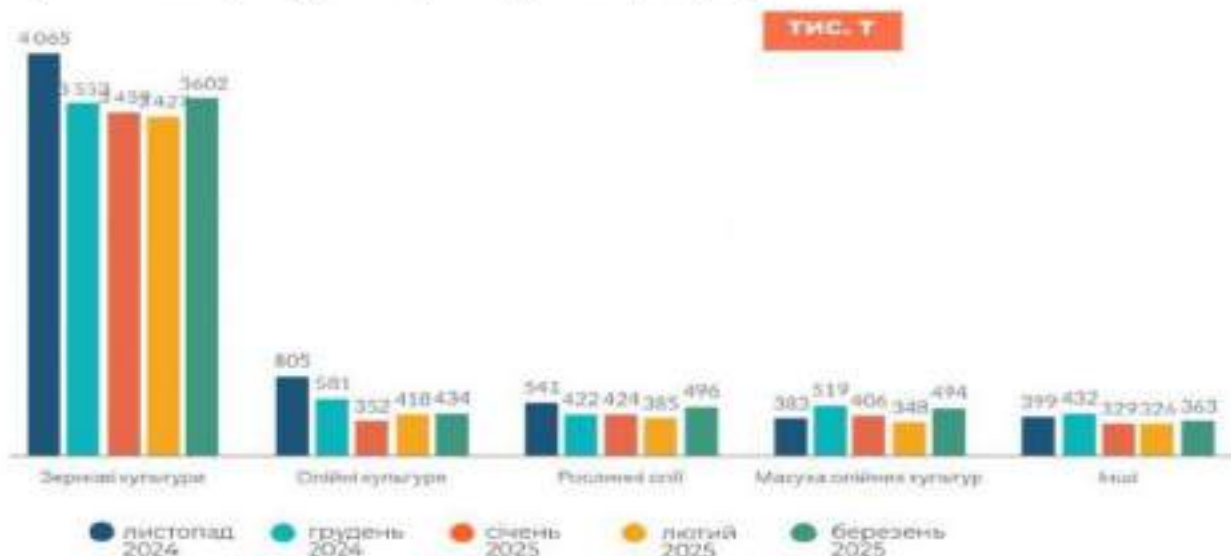


Рисунок 1.7 Обсяги експорту з України основних видів продукції АПК за листопад 2024 – березень 2025 року (тис. т)

Помісячний експорт продукції АПК за видами транспорту у 2025 році наведено на рисунку 1.8. Мінімальні обсяги транспортування зафіксовані у вересні (2 843,3 тис. т) та у липні (2 906,5 тис. т), а максимальні – у березні

(4 657,9 тис. т) та у листопаді (4 430,3 тис. т). Середньомісячні обсяги експорту за 2025 рік – 3 826,5 тис. т з помісячним коливанням від – 25,7% до + 21,7%.

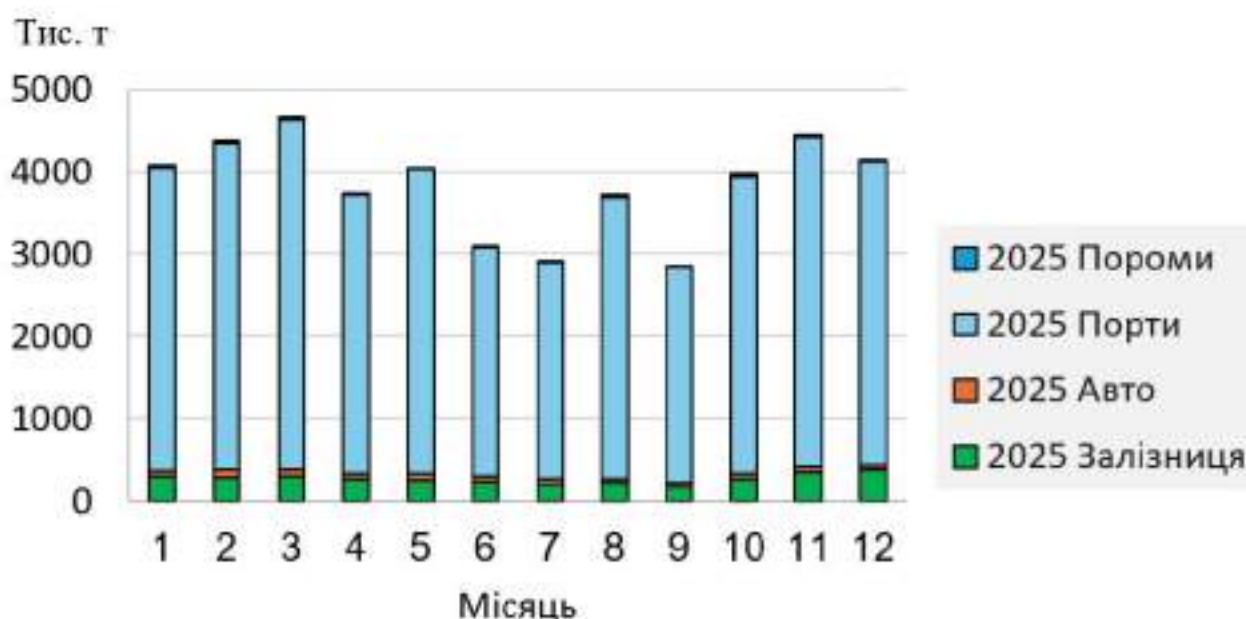


Рисунок 1.8 Помісячні обсяги експорту продукції АПК за видами транспорту у 2025 році (тис. т)

В грошовому еквіваленті експорт сільськогосподарської продукції АПК і продовольчих товарів становив у 2025 році 55,8% від загального експорту країни (22,5 млрд дол. США від загального 40,4 млрд дол. США). ТОП-7 вантажів, що сформували товарну структуру експорту сільськогосподарської продукції та продовольчих товарів у 2025 році, представлено в таблиці 1.2. Лідери експорту (олія соняшникова, кукурудза і пшениця) забезпечують більше половини (53,8 %) надходжень від експорту товарів АПК України.

Таблиця 1.2 – Вантажі, які сформували структуру експорту сільськогосподарської продукції та продовольчих товарів АПК у 2025 році

Найменування вантажів	Обсяг, млн дол. США	Відсоток, %
1	2	3
Експортовано всього	22 515	100
Зокрема:		
1 Олія соняшникова	5 222,9	23,2

2 Кукурудза	3 901,9	17,3
3 Пшениця	2 988,2	13,3
4 Соя	1 333,6	5,9
5 М'ясо птиці	1 092,8	4,8
6 Ріпак	886,1	3,9
7 Шрот соняшниковий	740,7	3,3
Разом ТОП-7	16 166,2	71,8
Інші вантажі	6 348,8	28,2

1.2 Транспортування експортної продукції АПК перевізником АТ «Укрзалізниця»

Залізничний транспорт традиційно є однією з ключових складових дорожньо-транспортної системи України, забезпечуючи приблизно 82% вантажних та 36% пасажирських перевезень серед усіх видів транспорту. На сьогодні експлуатаційна довжина залізничних колій в Україні (без врахування тимчасово окупованих територій, де мережа наразі фактично не функціонує) складає 19,8 тис. км, з яких 9,9 тис. км, або 47,2%, електрифіковано [6].

Провідним підприємством у галузі залізничного транспорту є акціонерне товариство «Укрзалізниця» (АТ «Українська залізниця»), яке забезпечує централізоване управління перевізним процесом як на внутрішніх, так і на міжнародних маршрутах. Окрім цього, компанія координує виробничо-господарську діяльність усієї залізничної інфраструктури України.

В складі АТ «Укрзалізниця» шість регіональних філій: Львівська, Донецька, Південно-Західна, Одеська, Південна та Придніпровська залізниці. Окрім цього, компанія об'єднує інші підприємства виробничо-технологічного комплексу, які забезпечують виконання вантажних та пасажирських перевезень. У рамках планів реформування залізничної галузі на 2026 рік передбачено створення інфраструктурних та вантажних вертикалей операційного управління, що означає поступовий відхід від регіональних філій.

За останні п'ять років обсяги вантажних перевезень залізницею зазнали значних коливань, що насамперед зумовлено наслідками широкомасштабної агресії російської федерації. Так, у передвоєнному 2021 році було перевезено 314 млн т вантажів, у 2022 році спостерігалось падіння до 151 млн т, а в 2023 році — до 147 млн т. У 2024 році відбулося відновлення обсягів до 175 млн т, тоді як у 2025 році вони знизилися до 161 млн т (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 Обсяги перевезень вантажів залізницею України протягом 2021-2025 років (млн т)

За обсягами перевезень залізничним транспортом експортні перевезення практично відповідають внутрішнім. Дані за 2025 рік по напрямках перевезень наведені на рисунку 1.10. В структурі експорту зерно за 2025 рік займає третє місце (28,8 млн т), втративши лідерство 2024 року, суттєво поступаючись руді (42,8 млн т) та незначно мінбудматеріалам (31,2 млн т) (рисунок 1.11).

До 2022 року близько 65% перевезень зернових культур в Україні здійснювалося залізничним транспортом, тоді як частка експорту через морські порти перевищувала 70% [7]. Понад 80% елеваторів лінійних обладнані інфраструктурою для завантаження залізничних вагонів, у той час як серед «польових» елеваторів така можливість доступна лише приблизно у 15% випадків [24].

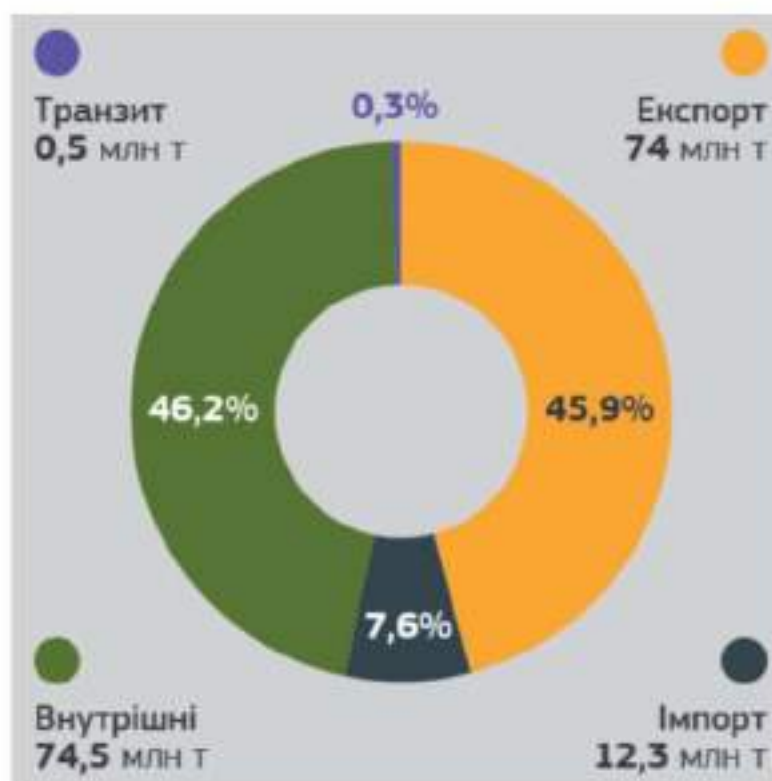


Рисунок 1.10 Напрямки вантажних перевезень АТ «Укрзалізниця» у 2025 році

	Руда	42,8	▼ -1,3%
	Мінбудматеріали	31,2	▲ +3%
	Зерно	28,8	▼ -27,3%
	Вугілля	19,3	▼ -17,3%
	Чорні метали	9,7	▲ +9,3%
	Нафта і нафтопродукти	5,7	▲ +21,8%
	Цемент	5	▲ +9,5%
	Добрива	2,3	▼ -1,8%
	Кокс	1,7	▼ -4,8%
	Металобрухт	1	▼ -4,1%

Рисунок 1.11 Перевезення основних вантажів залізницею України у 2025 році (в млн т) та динаміка до 2024 року

На початковому етапі збройної агресії близько третини підприємств були змушені тимчасово припинити діяльність. Основними причинами стали руйнування виробничих потужностей та інфраструктури, окупація окремих територій, високий рівень невизначеності та ризиків, розриви у логістичних і виробничих ланцюгах, а також масова вимушена міграція населення. Незважаючи на ці виклики, економіка та обсяги перевезень поступово почали відновлюватися після початкового періоду агресії [8].

У 2022 році обсяг перевезень зерна у внутрішньому сполученні склав 5,8 млн т, що становило 8% від загального обсягу внутрішніх перевезень, який досяг 76,1 млн т. За цим показником зернові культури посіли четверте місце серед усіх категорій вантажів, що транспортувалися всередині країни [8].

У 2022 році експортні перевезення 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 значні зміни в експортній логістиці: було припинено транспортне сполучення з Російською Федерацією та Білоруссю, а після блокади українських морських портів — через які у 2021 році проходило понад 70% експортних перевезень (79,5 млн т) [4] — основні вантажопотоки були перенаправлені на західні прикордонні пункти. У цьому напрямку в 2022 році експорт склав 32 млн т, що на 10 млн т більше порівняно з попереднім роком. Водночас інфраструктура ЄС виявилася недостатньо пропускною для забезпечення необхідних обсягів українського експорту.

Із запуском «зернової ініціативи» 01.08.2022 року було відновлено експорт зерна через порти Великої Одеси. Протягом п'яти місяців роботи (серпень – грудень) залізничним транспортом до цих портів було доставлено 7,7 млн т зернових вантажів [4]. Однак повноцінне використання потенціалу зернового коридору обмежувалося штучними перешкодами з боку Російської Федерації. Незважаючи на ці складнощі, зернові вантажі залишалися провідною категорією в структурі експортних перевезень у 2022 році — їхній обсяг склав 22,55 млн т, що становило 38% від усіх експортних перевезень [8].

У структурі імпорتنних перевезень залізницею зернові культури майже не представлені. Водночас у транзитних перевезеннях через територію України у 2022 році було перевезено 475 тис. т зернових, що становило 18% від загального обсягу транзитних вантажів [8].

У 2021 році 98% обсягів експорту зернових вантажів здійснювалося через порти. У 2022 році частка портового експорту знизилася до 63% [4], проте у 2023 році вона зросла до 78%, у 2024 — до 88%, а у 2025 — до 91%.

За 2022 рік структура залізничних перевезень зерна за видами сполучень виглядала так: експорт — 22,55 млн т (78%), внутрішні перевезення — 5,758 млн т (20%), транзит — 0,475 млн т (2%) [8]. Більш детальна структура експорту зернових вантажів за станціями виходу за цей період наведена відповідно на рисунку 1.12.

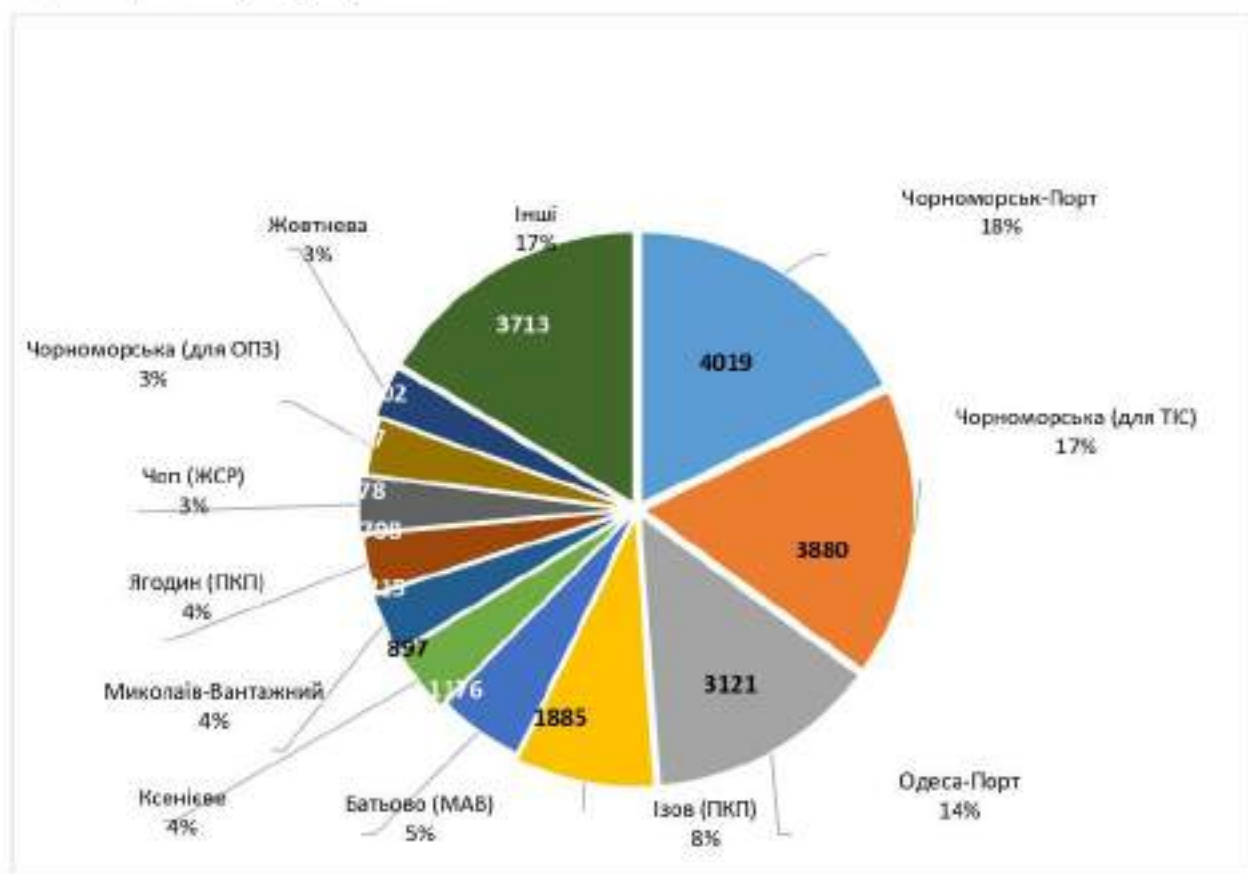


Рисунок 1.12 Структура експорту зернових вантажів по станціях виходу у 2022 році (тис. т)

У 2022 році серед найбільших відправників зерна залізничним транспортом через перевізника АТ «Укрзалізниця» лідирувало ТОВ «КЕРНЕЛ-ТРЕЙД» з обсягом 2 732 тис. т. Наступними за обсягами були: 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 й ТОВ «УТЛ-2» — 1 036 тис. т [8].

Не дивлячись на те, що зерновантажі формуються по всій території України, лише близько 500 залізничних станцій оснащені інфраструктурою для їх вантаження. Сумарний добовий потенціал цих станцій перевищує 19 000 вагонів. Водночас ефективність використання цього потенціалу розподіляється нерівномірно: 35% станцій у середньому відвантажують менше ніж 5 вагонів на добу, а 82% — менше ніж 10 вагонів. Перелік найбільших зернових станцій вантаження у 2025 році наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Найбільші станції за обсягами вантаження зерна за 2025 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
Торошилівка	Сумська	Південна	4854	310 656	1	488

Зерновантажі, що транспортуються залізницею до морських портів, проходять обробку на припортових станціях. В Україні функціонує 40 таких станцій, з яких 34 зосереджені на обробці експортних партій для подальшого відвантаження через морські порти [16].

Детальніше розглянемо переваги та недоліки залізничних перевезень зернових вантажів. Однією з головних переваг є нижча вартість доставки

однієї тонни вантажу для відправника порівняно з автотранспортом. Серед інших переваг — висока пропускна здатність залізничної інфраструктури, відносна стійкість до погодних умов (крім екстремальних явищ, таких як сильні повені або снігові замети), можливість перевезення великотоннажних партій вантажу, а також енергонезалежність від імпортованих нафтопродуктів. Зокрема, близько 90% перевезень, включно з вантажами до портів Одеського регіону, здійснюються електровозами на електроенергії, виробленій вітчизняними електростанціями.

Серед основних недоліків залізничних вантажоперевезень слід зазначити порівняно низьку швидкість доставки у порівнянні з автомобільним транспортом. Крім того, наявні труднощі з тарифоутворенням [17], що ускладнює планування логістики. При транспортуванні зерна до європейських країн часто виникає потреба у зміні вагонів на вузькоколіїні або перевантаженні вантажу, що сповільнює процес. До інших проблем належать складнощі з будівництвом під'їзних колій до підприємств-замовників, ризик крадіжок під час зупинок на станціях та обмежені можливості забезпечення доставки за принципом «від дверей до дверей».

1.3 Аналіз публікацій по проблематиці транспортування вантажів АПК залізницями

Тема доставки та перевезення зернових вантажів, зокрема залізничним транспортом, активно досліджується у науковій сфері. Різні аспекти цього питання висвітлюються у працях як українських, так і зарубіжних науковців та фахівців-практиків. Серед авторів, які зробили вагомий внесок у розвиток цієї галузі, можна виділити: Бауліну Г., Богомазову Г., Зайцева А., Вернигору Р., Запару В., Запару Я., Колеснікову Н., Кожевнікова Ю., Крейніна А., Мазо Л., Ломотька Д., Нагорного Є., Пасічника В., Огорокова А., Сахна В., Третьяка В., Цупрова П., Цегельника М., Чорного В., Черниш Н., Шарая С., а також

іноземних дослідників — Z. Hřebíček, A. Dolinayová, V. Zitrický, L. Černá й інших.

У дослідженні [9] проаналізовано шляхи розв'язання задач маршрутизації мультимодальних вантажоперевезень із залученням різних видів транспорту. Для цього запропоновано застосування комбінованого підходу до прийняття рішень на основі багатокритеріального аналізу з використанням штучних нейронних мереж.

В науковій роботі [10] проаналізовано сучасний стан організації перевезень зернових культур та окреслено основні тенденції розвитку зернового ринку. Дослідники виділили ключові чинники, що призводять до зростання обігу вагонів-зерновозів за одночасного зниження їх продуктивності. В межах дослідження запропоновано стохастичну модель формування ступінчастих маршрутів для перевезення зернових, яка враховує ймовірності простої вагонів на станціях формування та дозволяє визначати оптимальну кількість вагонів у складі маршрутного поїзда.

У статті [11] запропоновано модель та окреслено основні принципи формування відправлень і організації руху зернових вантажів. Автори виділили ключові тенденції розвитку ринку зерна та визначили основні фактори, що дозволяють здійснювати короткострокове прогнозування напрямів перевезень. Також реалізовано модель побудови ступінчастого маршруту з урахуванням технічних можливостей тягового обладнання на дільниці та обґрунтовано методику розподілу рухомого складу в умовах реформування транспортної галузі.

В дослідженні [12] проведено аналіз структури тарифів на вантажні перевезення, зокрема зернових культур. Виконано порівняння базових тарифів при використанні локомотивів різної форми власності у вантажних, порожніх та повних рейсах у вагонах вантажовласників у рамках експерименту з впровадження приватної тяги на українській залізниці. У роботі запропоновано критерій оцінки ефективності застосування приватної тяги в умовах існуючої системи тарифоутворення, а також наведено оцінку її

продуктивності залежно від відстані перевезення й кількості вагонів у складі поїзда.

У сучасних зарубіжних дослідженнях [13] запропоновано методику формування тарифів на перевезення зернових залізничним транспортом, що враховує специфічні технічні та технологічні вимоги до перевезень і пов'язані з ними витрати. Цей підхід частково узгоджується з розробками вітчизняних науковців. Методологія передбачає застосування науково обґрунтованих процедур для створення ефективної системи залізничного фрахту. У роботі використано методи аналізу попиту, оцінки ролі персоналу, ідентифікації рухомого складу, розрахунку вартості перевезення та тарифів, а також технології організації індивідуальних відправлень, формування прайс-листів і встановлення тарифів на транспортні послуги.

У наукових працях, що розглядалися, детально проаналізовано ключові 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 отримало повного вирішення. Проведений аналіз публікацій створює основу для розробки нових підходів до маршрутних перевезень зернових і оцінки їхньої порівняльної вартості. Це має особливе значення з огляду на сучасне зростання обсягів виробництва зерна в Україні та потребу в удосконаленні логістичних рішень.

Питання формування тарифів на залізничні вантажні перевезення залишається предметом активного наукового обговорення в Україні та за кордоном. Велика кількість досліджень присвячена цій тематиці як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями та практиками. Серед авторів, які зробили істотний внесок у вивчення цього питання, слід виділити: Вернигору Р., Єфанова А., Зайцева А., Запару В., Колесникову Н., Крейніна А., Левицького І., Ломотька Д., Огорокова А., Пасічника В., Цегельника М., Черниш Н., Чорного В., а також іноземних науковців — V. Zitrický, L. Čermá, A. Dolinayová та інших [12,14].

Висновок. 1 Зазначено, що Україна є аграрною країною з провідною експортною орієнтацією галузі у структурі національної економіки. АПК виступає фундаментом аграрного експорту та є ключовим чинником розвитку численних секторів господарського комплексу країни. Експорт продукції агропромислового комплексу значною мірою визначає обсяги валютних надходжень до державного бюджету (у 2025 році її частка в експорті перевищила 55%) та забезпечує істотну частку доходів сільськогосподарських підприємств. Крім того, галузь відіграє важливу роль у регулюванні обсягів пропозиції й цін на основні продукти харчування для населення та впливає на стан і розвиток сільських територій.

2 Доведено, що залізничний транспорт є основним видом перевезення експортної продукції АПК в Україні, забезпечуючи приблизно 70% від загального обсягу таких перевезень. Водночас необхідно враховувати активну конкуренцію з боку інших видів транспорту, передусім автомобільного, який також користується значним попитом серед вантажовідправників. За сприятливих умов автомобільний транспорт здатен швидко зайняти істотну частку ринку перевезень експортної продукції АПК.

3 Проаналізовано наукові здобутки вітчизняних і закордонних дослідників щодо оптимізації вантажної та комерційної діяльності при перевезенні експортної продукції АПК. Встановлено, що питання економічної доцільності концентрації вантажопотоків і формування маршрутних перевезень експортної продукції АПК у конкретних умовах, зокрема на прикладі регіональної філії «Південна залізниця», досі не отримало вичерпного наукового вирішення.

2 Дослідження динаміки експорту продукції АПК з України за умов
військового стану і ефективності маршрутизації експортної продукції АПК
залізничним транспортом

2.1 Дослідження динаміки експорту продукції АПК з України під час
військового стану

У 2024 році економіка України зростала помірними темпами: реальний ВВП країни зріс на 2,9% і склав 7,66 трлн грн, незважаючи на триваючі виклики, пов'язані з широкомасштабною агресією та зовнішніми економічними чинниками. Водночас від'ємне сальдо зовнішньої торгівлі збільшилося на 3,6% порівняно з 2023 роком і досягло 25,239 млрд дол. США. За рік експорт зріс на 16,5% і склав 38,423 млрд дол. США, тоді як імпорту збільшився на 11,0%, до 63,662 млрд дол. США. Тенденції продовжились і в 2025 році: експорт зріс на 4,9% (до 40,3 млрд дол. США), зростання імпорту – 33,2% (до 84,8 млрд дол. США), більше ніж вдвічі перевищивши експорт. Наведена інформація свідчить про необхідність для України зосередитися на розширенні експортного потенціалу та підтримці стратегічних галузей, зокрема АПК, ІТ та машинобудування. Таким чином, активне нарощування експортних можливостей економіки України виступає нагальним пріоритетом для держави.

Початок 2025 року демонстрував позитивну динаміку українського експорту. У березні 2025 року обсяги експорту товарів у грошовому еквіваленті зросли на 18% порівняно з лютим 2025 року. Сумарний обсяг експорту за I квартал 2025 року склав 9,9 млрд дол. США, при цьому головним торговельним партнером України залишається ЄС. Зростання експорту у березні було зумовлене збільшенням поставок насіння соняшнику, макухи, заліза та соняшникової олії.

За I квартал 2025 року серед ТОП-7 лідерів експорту, що приносять нашій країні найбільші надходження:

- 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 й 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 видно, серед лідерів за обсягами експортних перевезень залишається продукція АПК, зокрема кукурудза, пшениця та соняшникова олія. З початку 2025 року найпопулярнішими для експорту з України були:

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

У 2025 році основним фактором українського експорту залишалася сільськогосподарська продукція, зокрема зерно та олія, обсяг якої перевищив 22 млрд дол. США. Значно менші обсяги припадали на металургію — 4,7 млрд дол. США, а також на машинобудування. Найбільшими імпортерами українських товарів стали Польща (5,0 млрд дол. США), Туреччина (2,7 млрд дол. США) та Німеччина (2,4 млрд дол. США). Важливою позитивною тенденцією стало зростання експорту продукції з доданою вартістю, зокрема готових харчових продуктів і молочних виробів, виручка від яких склала 4,4 млрд дол. США.

У фізичному вираженні товарообіг у 2025 році скоротився на 12,9%, досягнувши 139,3 млн т, що пояснюється передусім зниженням експорту на 20,8%. Найбільше постраждали обсяги експорту продовольчих товарів і

продукції сільського господарства — на 32%, а також мінеральних продуктів — на 7,1%. На зменшення експорту вплинули кілька факторів: стан світових ринків, виснаження запасів попередніх урожаїв та скорочення виробництва експортної продукції. Крім того, обмеження експорту до ЄС були пов'язані зі зміною логістичних маршрутів, коли більшість продукції почала експортуватися через порти Чорного моря, а також із скасуванням автономних торговельних заходів ЄС і поверненням до тарифних квот.

Ще одним чинником скорочення постачання української сільськогосподарської продукції на зовнішні ринки, переважно до країн Африки та Азії, стало загострення конкуренції з боку РФ. Зокрема, Росія постачає на міжнародні ринки продукцію, здебільшого зерно, вироблену на тимчасово окупованих українських територіях. Крім того, РФ, використовуючи сировину з цих регіонів, нарощує виробництво та експорт соняшникової олії, одночасно завдаючи ударів по інфраструктурі України, що пов'язана з виробництвом і експортом цього продукту, що дозволяє отримувати додаткову виручку завдяки зростанню світових цін на олію.

У 2025 році РФ вивезла з тимчасово окупованих територій України понад 2 млн т зернових культур, при цьому більшість поставок відбулася у другому півріччі — близько 1,4 млн т. Крім того, Росія розширює географію збуту: до Єгипту відвантажено 490 тис. т (53,6 % обсягів збіжжя), до Бангладеш — 250 тис. т, зросли постачання до Лівану (78,1 тис. т) і Туреччини (96,7 тис. т), відновлено вивезення до Сирії (94,4 тис. т). Агропродукція також надходить до Джибуті, Саудівської Аравії та В'єтнаму, а в невеликих обсягах — навіть до окремих Балканських країн.

Розглянемо експортний потенціал аграрного сектору України. Незважаючи на широкомасштабну агресію, країна зберегла стабільність експорту сільськогосподарської продукції у вартісному вимірі: щорічна валютна виручка від агроекспорту перевищує 22 млрд дол. США. Попит на українську продукцію зберігається як у Південно-Східній Азії, так і в країнах Африки, що підкреслює важливість диверсифікації каналів постачання —

пріоритетне завдання для Мінагрополітики. Короткострокова мета — завершення відкриття китайського ринку для таких товарів, як горох, борошно, м'ясо птиці та риба. Одночасно відбувається активна робота з аграрними асоціаціями щодо виходу на нові ринки, зокрема Малайзії, Індонезії, Бангладешу та інших країн..

Мінагрополітики веде активну роботу з АТ «Укрзалізниця» щодо оптимізації перевезень агропродукції, зокрема для виробників із прифронтових територій. Одне з ключових питань — скасування 30% знижки на залізничне транспортування, що потребує пошуку компромісного рішення. Розглядаються різні механізми покриття витрат: запровадження єдиного тарифу, індексація тарифів або поділ плати на дві частини — за зношення інфраструктури та за кілометраж. Для опрацювання цих рішень формується робоча група з представників зацікавлених відомств, яка має розробити дорожню карту як для АПК з прифронтових територій, так і для інших регіонів країни.

Розглянемо стан транспорту, який забезпечує експорт продукції АПК, з особливим акцентом на зернові вантажі. Як показано в розділі 1, залізничний транспорт відіграє ключову роль, проте основний потік експорту АПК проходить через морські порти. Обсяги перевалки вантажів в українських портах за останні п'ять років зазнали значних коливань: з початком широкомасштабної агресії вони впали утричі, після чого протягом наступних 2-х років поступово відновилися майже вдвічі (див. рисунок 2.1).

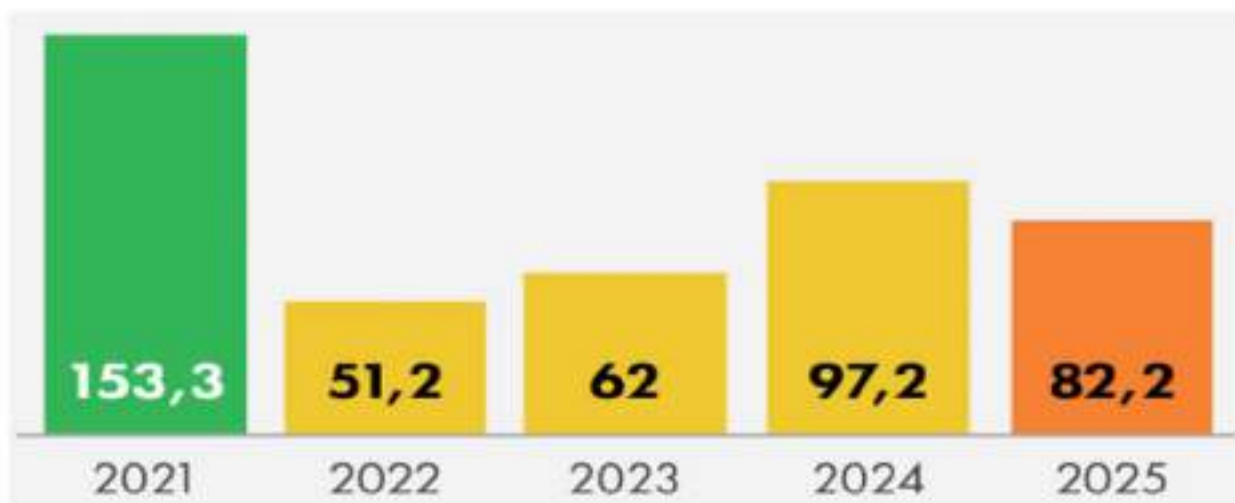


Рисунок 2.1 Обсяги перевалення вантажів у портах України за 2021-2025 роки (млн т)

Експортні вантажі АПК залишаються ключовими для українських портів, навіть в умовах військового стану. На початковому етапі широкомасштабної агресії та блокади чорноморських портів відбулося різке зниження обсягів перевалки. Проте після запуску «зернового коридору» спостерігалось поступове відновлення та зростання перевалки, і в 2024 році вона перевищила довоєнні рівні (див. рисунок 2.2). У 2024 році частка експортних вантажів АПК у загальній перевалці становила понад 62%, тоді як у 2025 році відзначено зменшення цього показника до трохи менше ніж 50%.

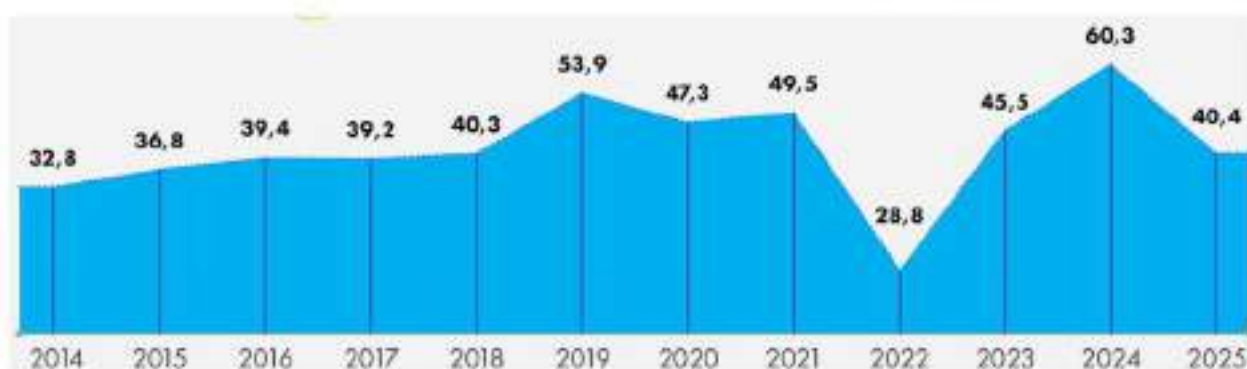


Рисунок 2.2 Обсяги перевалення експортних зерновантажів в портах України за 2014-2025 роки (млн т)

Функціонування українського морського коридору у 2024 році дозволило вітчизняним портам відновити приблизно дві третини довоєнного обсягу перевалки. Основними воротами морського експорту знову стали порти Великої Одеси, тоді як порти на Дунаї обробляли переважно невеликі судові партії та нішеві вантажі. Державі важливо розробити механізми підтримки таких портів як резервного маршруту експорту. На найближчий період, зокрема на 2026 рік, пріоритетним завданням є розблокування Миколаївських портів, однак це питання безпосеково залежить від безпекової ситуації та загальної стабільності портової інфраструктури України.

Важливим аспектом є напрямки експортних перевезень, які можуть значно коливатися залежно від кон'юнктури ринку та зовнішніх факторів, зокрема широкомасштабних військових дій. Після блокування українських портів експортні потоки були переорієнтовані на західні сухопутні прикордонні переходи, де стикнулися з обмеженою пропускнуою спроможністю залізничної інфраструктури країн ЄС. За підсумками 2023 року 36,5% усіх експортних перевезень залізницею України здійснювались через сухопутні переходи, тоді як 63,5% вантажів все ще відвантажувались через морські порти.

У 2025 році АТ «Укрзалізниця» перевезла на експорт 25 млн 481 тис. тонн зерна, що на 25,3% менше, ніж у 2024 році, або на 8 млн 651 тис. тонн. При цьому 92% експортного зерна (23 млн 454 тис. тонн) було доставлено до морських портів. Порівняно з 2024 роком обсяги перевезень на порти знизилися на 20%, або на 5 млн 768 тис. тонн. Найбільше зерновантажів на експорт у 2025 році з залізничного транспорту прийняли:

- Порт «Південний» - оброблено 2,11 млн т. До минулого року зниження мінус 13%;

- Одеський морський порт прийняв і обробив по залізничному транспорту 5,4 млн т. Порівняно з 2024 роком зниження майже 40%, обробка портом зерновантажів зменшилася на 3,566 млн т;

- Станція «Чорноморська» для ТІС — перероблено 5,598 млн т, що на 2,7% менше, ніж у 2024 році;

- Морський порт «Чорноморськ» — 10,711 млн т. До 2024 року показав незначне падіння — 3,5%.

Найбільше зниження за обсягами серед портів мав Ізмаїльський морський порт, де за 2025 рік було оброблено 310 тис. т, а це менше на 74% від показників за 2024 рік.

Розглянемо більш детально ситуацію стосовно експорту продукції АПК. Зосередимось саме на результатах 2023 та 2024 років, коли мало місце суттєве нарощування обсягів експорту та проходила переорієнтація напрямів експорту (його повернення до передвоєнної структури з домінуванням водних шляхів експорту).

В таблицях 2.1 і 2.2 представлені помісячні статистичні дані по експорту продукції АПК із України відповідно саме у 2023 та 2024 році при використанні певних прикордонних переходів (сухопутні або водні) різними видами транспорту.

Таблиця 2.1 – Обсяги експорту зерновантажів з України за 2023 рік за видами транспорту і прикордонних переходів (водні, сухопутні) (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

Помісячна деталізація даних дає змогу глибше аналізувати тенденції в експорті зернових вантажів і виявляти чинники, що впливають на ситуацію, з метою подальшого оперативного коригування управлінських рішень.

Таблиця 2.2 – Експорт зерна із України у 2024 році по видах транспорту й 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
Всього	6652,6	1500,6	8153,2	11,7%	61346,2	286	61632,2	88,3%	69785,4

В таблиці 2.3 наведені помісячні статистичні дані щодо експорту продукції АПК з України у 2025 році при використанні певних прикордонних переходів (сухопутні чи водні) різними видами транспорту.

Таблиця 2.3 – Обсяги експорту зерновантажів з України за 2025 рік в розрізі видів транспорту і прикордонних переходів (сухопутні чи 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	306,1	68,6	374,7	9,2%	3681,6	8,6	3690,2	90,8%	4064,9
2	291,2	86,9	378,1	8,7%	3967,5	18,7	3986,2	91,3%	4364,3
3	301,8	82,0	383,8	8,2%	4252,2	21,8	4274,0	91,8%	4657,9
4	269,3	66,7	336,0	9,0%	3384,6	8,7	3393,3	91,0%	3729,4
5	259,7	69,7	329,4	8,1%	3702,6	10,5	3713,1	91,9%	4042,5
6	242,6	62,9	305,5	9,9%	2775,2	10,2	2785,4	90,1%	3090,8
7	207,8	62,5	270,3	9,3%	2627,1	9,1	2636,2	90,7%	2906,5
8	215,3	58,5	274,0	7,4%	3426,6	7,1	3433,7	92,6%	3707,5
9	174,8	55,2	230,0	8,1%	2610,1	3,2	2613,3	91,9%	2843,3
10	273,0	63,0	336,0	8,5%	3604,8	4,3	3609,1	91,5%	3945,0
11	345,9	67,4	413,3	9,3%	4014,0	2,9	4016,9	90,7%	4430,3
12	380,1	55,8	435,9	10,5%	3690,2	10,1	3700,3	89,5%	4136,3
Всьо- го	3 267,8	799,2	4 067,0	8,9%	41 736,5	115,1	41851,6	91,1%	45918,6

Для кращого сприйняття наведених даних доцільно розглянути динаміку помісячних показників на відповідних графіках. На рисунку 2.3 відображено помісячні обсяги експорту зернових вантажів з України за 2023 та 2024 роки залізничним транспортом через західні сухопутні прикордонні

переходи, тоді як на рисунку 2.4 представлено аналогічні дані для сухопутних магістральних видів транспорту в цілому (залізничного та автомобільного).

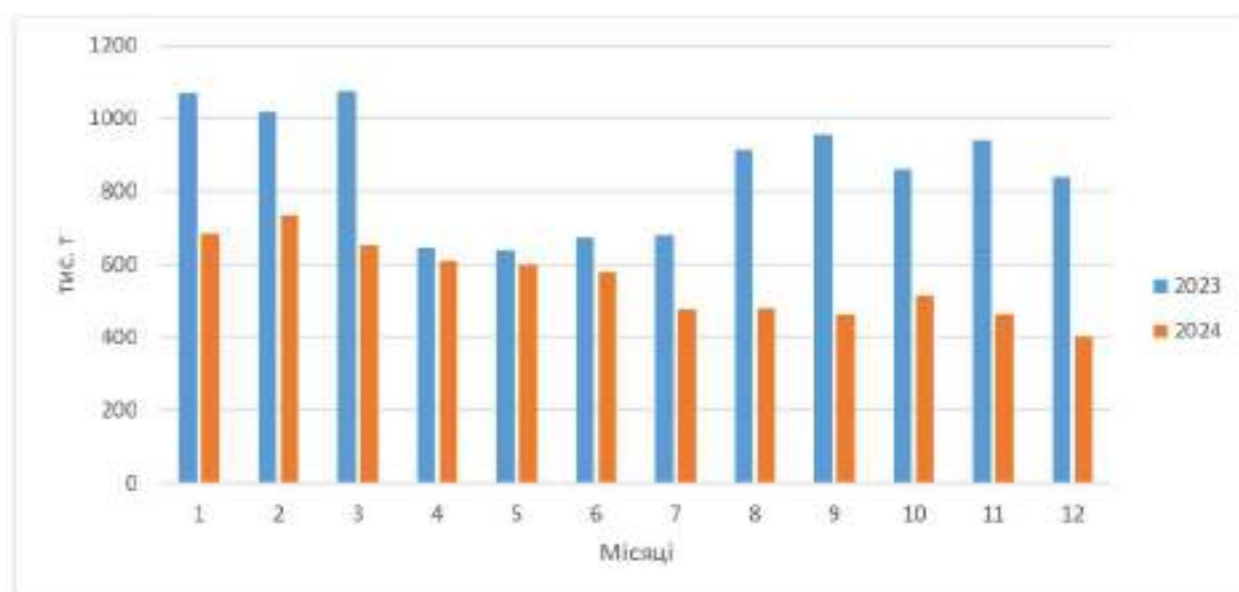


Рисунок 2.3 Помісячні обсяги експорту зерновантажів з України за 2023 й 2024 роки залізницею через західні прикордонні сухопутні переходи

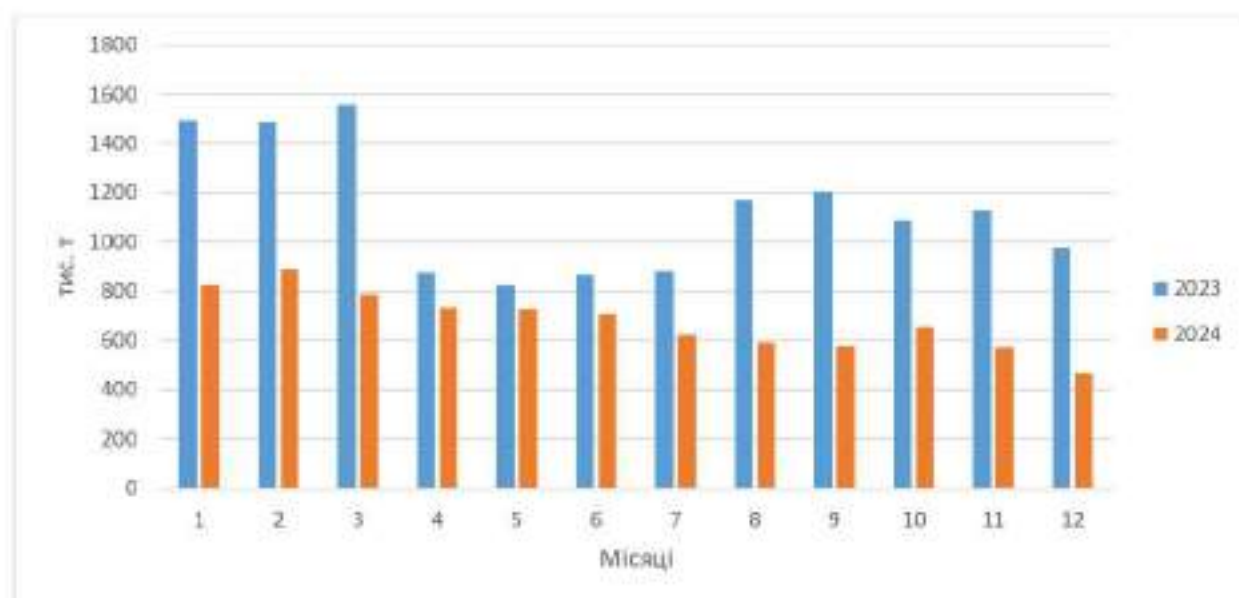


Рисунок 2.4 Помісячний експорт зерновантажів з України за період 2023 і 2024 років (сумарно залізниця + автотранспорт) через сухопутні західні прикордонні переходи

Дані, наведені на рисунку 2.3, свідчать про значні помісячні коливання обсягів залізничних перевезень зерна на експорт через сухопутні прикордонні переходи протягом двох аналізованих років, при цьому простежується загальна тенденція до їх зниження. У 2023 році можна виділити три відносно стабільні періоди: у першому кварталі спостерігалися максимальні обсяги перевезень (понад 1 млн т щомісяця); у період з квітня по липень — мінімальні значення (близько 650 тис. т); з серпня до кінця року — середній рівень перевезень (приблизно 900 тис. т) із поступовим незначним зниженням. У 2024 році динаміка має більш виражений спадний характер: від 686 тис. т у січні (з незначним підвищенням у лютому) до 400 тис. т у грудні. Загалом за цей період частка залізничного транспорту в експортних перевезеннях зерна скоротилася з 16,7% у 2023 році до 9,5% у 2024 році. Така тенденція збереглася і на початку 2025 року: у січні показник становив 7,5%, а у лютому — 6,7%.

Аналогічна ситуація простежується і за даними, наведеними на рисунку 2.4, що характеризують магістральні сухопутні види транспорту (у сукупності залізничний та автомобільний). Автомобільний транспорт демонструє значно менші обсяги перевезень і чітко виражену тенденцію до їх скорочення: якщо на початку 2023 року щомісячні обсяги становили близько 450 тис. т, то наприкінці 2024 року вони знизилися до 100 тис. т і менше. У результаті частка автотранспорту в експортних перевезеннях зерна скоротилася з 5,3% у 2023 році до 2,2% у 2024 році, причому ця тенденція збереглася і на початку 2025 року (1,7% у січні та 2,0% у лютому). Загальний обсяг експорту зерна через сухопутні переходи (залізничним і автомобільним транспортом) також істотно зменшився — з 1,5 млн т на початку 2023 року до 500 тис. т і менше наприкінці 2024 року, тобто приблизно утричі. Відповідно, частка сухопутних маршрутів у загальному експорті зерна знизилася з 22,0% у 2023 році до 11,7% у 2024 році, продовживши падіння і на початку 2025 року (9,2% у січні та 8,7% у лютому).

Обсяги експорту зерна (помісячні) з виділенням сухопутних й водних переходів у 2023 та 2024 роках наведено на рисунку 2.5.

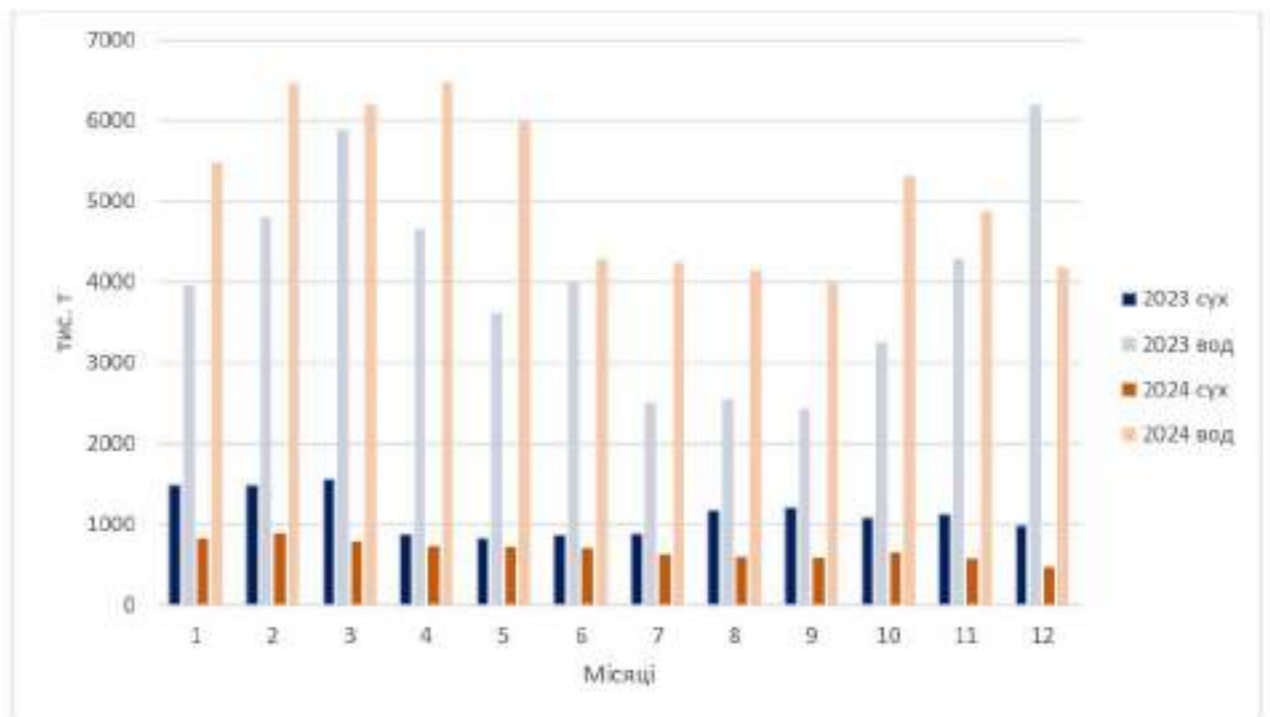


Рисунок 2.5 Помісячний обсяг експорту зерна із України з виділенням сухопутних і водних переходів за період 2023 та 2024 роки

Як свідчать наведені дані, обсяги експорту через водні пункти пропуску суттєво, у декілька разів, перевищують показники сухопутних маршрутів і характеризуються різною динамікою у 2023 та 2024 роках. У I кварталі 2023 року спостерігалася стабільне зростання — з 4 млн т у січні до майже 6 млн т у березні. Надалі відбулося поступове зниження: з 4,6 млн т у квітні до мінімальних значень у липні–вересні на рівні близько 2,5 млн т щомісяця. У IV кварталі 2023 року динаміка знову набула позитивного характеру — обсяги зросли з 3,2 млн т у жовтні до 6,2 млн т у грудні, тобто майже вдвічі.

На початку 2024 року після незначного спаду у січні (5,5 млн т) спостерігався період найвищої активності водних перевезень — з лютого по травень із середніми обсягами близько 4 млн т щомісяця. У IV кварталі, після зростання у жовтні до 5,3 млн т, розпочалося поступове і стабільне скорочення обсягів перевалки до 4,2 млн т у грудні.

За результатами 2023–2024 років спостерігається відновлення частки експорту зерна через водні пункти пропуску майже до довоєнного рівня. Зокрема, у 2023 році водними маршрутами було експортовано 78,0% зерна, тоді як у 2024 році цей показник зріс до 88,3%. На початку 2025 року тенденція посилилася: у січні частка становила 90,8%, а в лютому — 91,3%.

На рисунку 2.6 наведені загальні помісячні обсяги експорту зерновантажів всіма видами магістрального транспорту у 2023 та 2024 роках.

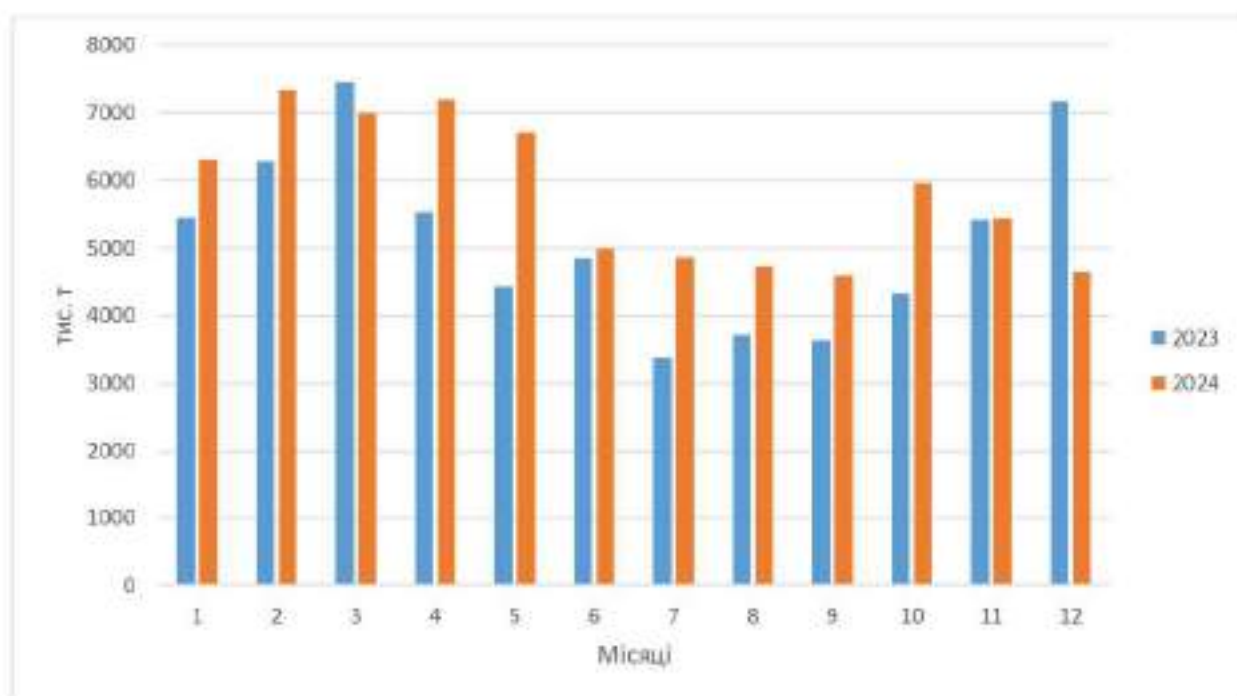


Рисунок 2.6 Загальні помісячні обсяги експорту зерна з України всіма видами транспорту за 2023 та 2024 роки

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 IV квартал 2024 року, за який маємо суттєве зниження обсягів

переробки, що є дисонансом на тлі суттєвого зростання обсягів у IV 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.

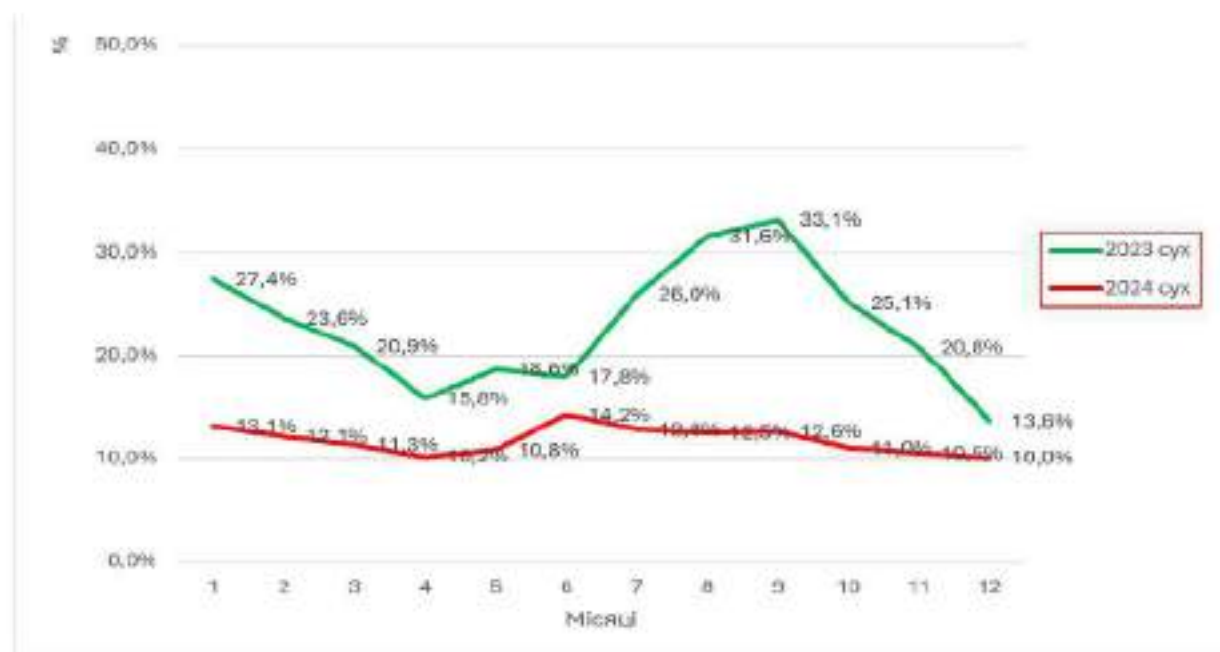


Рисунок 2.7 Частка сухопутних видів транспорту в загальних експортних перевезеннях зерна з України за 2023-2024 роки

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 експортних вантажів АПК

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

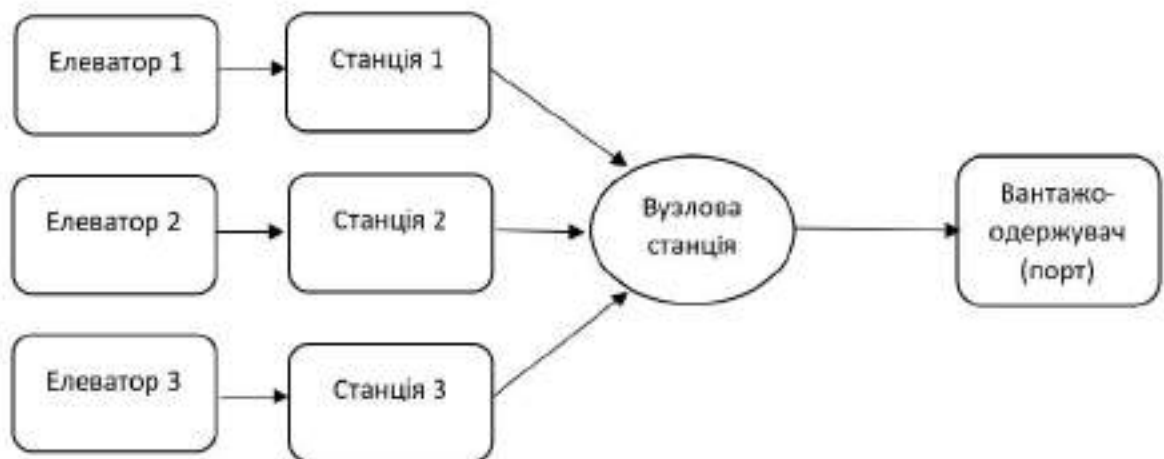


Рисунок 2.8 Схематична організація маршруту ступінчастого типу

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 $\Delta E_{\text{ex}}^{\text{рх}}$ 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 $\Delta E_{\text{в}}$:

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

Сумарна економія у дорозі прямування визначається за формулою:

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

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

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

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

N – кількість вагонів у маршруті, ваг;

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

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

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

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

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

де $\Delta t_{н}, \Delta t_{в}$ – 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

рахунок охорони вантажів, адже ставка при прямуванні 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:

$$n_{\Sigma} = \sqrt{\frac{m_M}{m_c}} \quad (2.4)$$

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:

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

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:

$$t_{36} = \frac{(9-1)}{2} = 4 \text{ доби.}$$

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]:

$$E_d = \min \left(\frac{T_H - 1}{2} c_{36} + \frac{T_H K}{365 p_{ст} m_m T_{ок}} + l_{авт} c_{авт} \left(\frac{m_m - m_c T_{ок}}{m_m} \right) \sqrt{\frac{m_m + m_c T_{ок}}{m_c T_{ок}}} \right) \quad (2.8)$$

де c_{36} – 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].

Висновок. 1 Встановлено, що експорт продукції АПК 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%, за 2025 рік – 91,1%). Експорт продукції АПК через сухопутні переходи (залізниця та автотранспорт) має обернену тенденцію і поступово втрачає частку в

експортному потенціалі продукції АПК (22,0% - за 2023 рік, 11,7% - за 2024 рік, 8,9% - за 2025 рік) при беззаперечному лідерстві залізничного транспорту (за 2025 рік в 4 рази перевищує обсяги експорту продукції АПК автотранспортом). Залізниця залишається лідером і в підвезенні експортної продукції АПК до портів України (23,5 млн т протягом 2025 року). 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 експортної продукції АПК.

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 і мережі вузлових станцій

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 2025 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

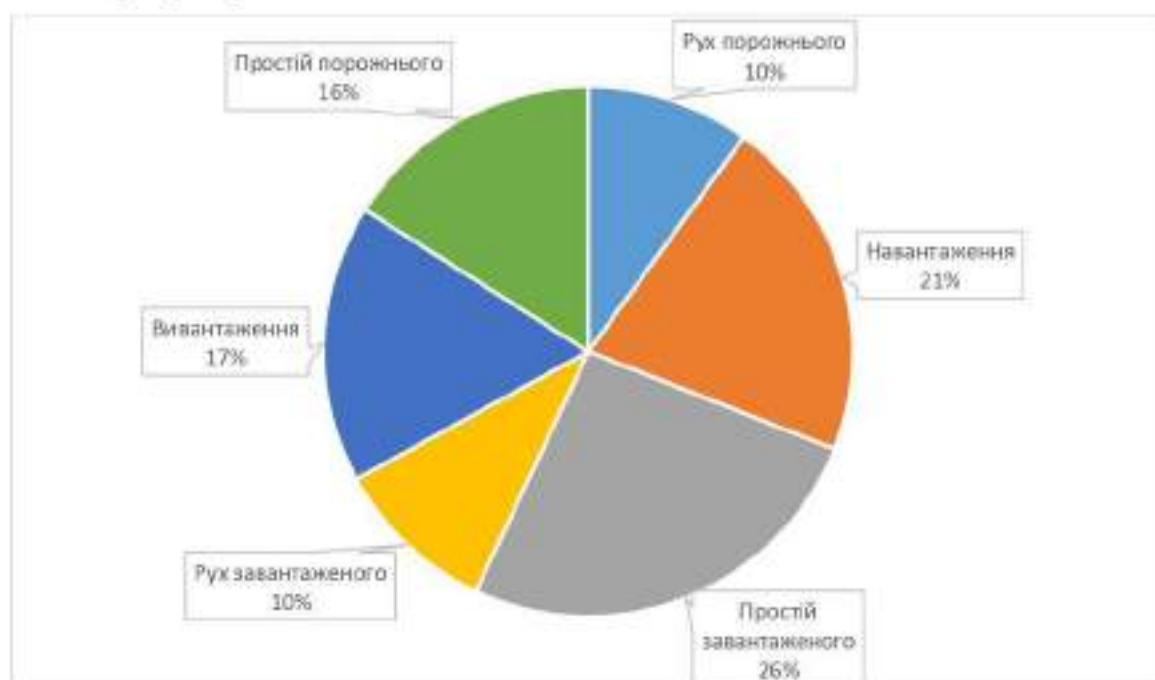


Рисунок 3.1. Поелементна структура обороту вагона-зерновоза

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 отримають 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 проектування, 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 продукції АПК

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

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

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

На певному залізничному полігоні розташована множина S станцій вантаження продукції АПК $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_z\}$, де z – загальна кількість станцій вантаження продукції АПК ($z=192$), 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]:

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

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 продукції АПК, ваг;

p – потужність елеваторної інфраструктури з одночасного зберігання продукції АПК, 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 продукцією АПК.

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 продукції АПК 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 продукцією АПК:

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

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 маршрутів продукції АПК на тиждень не буде потрібно, а $k_j = 1$ – формування j маршрутів продукції АПК 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 продукції АПК 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 продукції АПК 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 продукції АПК 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)

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

- сумарний річний обсяг продукції АПК, 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 продукцією АПК 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 продукції АПК має забезпечити мінімальні загальні витрати, які пов'язані із маршрутизацією перевезення експортної продукції АПК через порти. Укрупнено всі ці витрати можна представити як:

$$\sum_{u=1}^m E_u^{\text{авто}} + \sum_{u=1}^m E_u^{36} + \sum_{u=1}^m E_u^{3M} + \sum_{u=1}^m E_u^{3B} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{інф}} \rightarrow \min \quad (3.8)$$

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

E_u^{30} – додаткові витрати щодо зберігання продукції АПК на вузловій станції району R_u для накопичення маршруту, млн. грн.;

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

E_u^{3M} – витрати щодо перевезення продукції АПК 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 продукції АПК S на дві підмножини: 1) S^* , що включає вузлові станції можливої концентрації вантаження (U -станції); 2) S' , яка включає станції, на яких вантаження маршрутів продукції АПК не є доцільним. Із огляду на значну кількість станцій вантаження продукції АПК (понад 500), для отримання вказаних підмножин досить ефективно використати методи кластерного аналізу [25,26].

Кластерний аналіз - це 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.

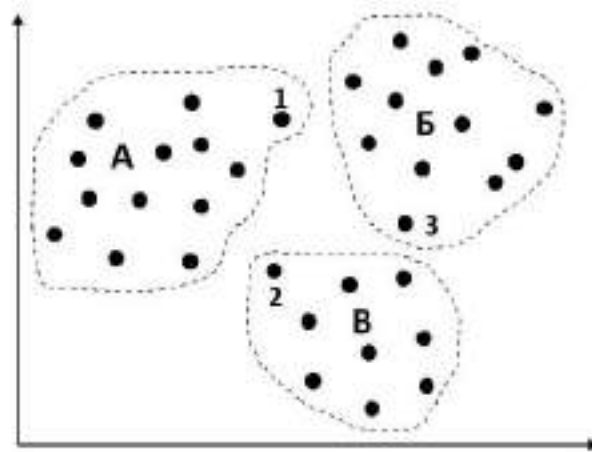


Рисунок 3.2 – Графічна інтерпретація групування об'єктів в кластери

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 продукції АПК. 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

продукції АПК 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 продукції АПК). Для класифікації станцій вантаження продукції АПК 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 продукції АПК – q , наявна потужність елеваторної інфраструктури – p , додаткові витрати щодо розвитку елеваторної й залізничної інфраструктури для забезпечення вантаження маршрутів продукції АПК – 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 продукції АПК 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 продукції АПК, 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	$d_{ab} = (\sum_j^N x_{aj} - x_{bj} ^p)^{1/r}$

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 продукції АПК 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 продукції АПК 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 продукції АПК 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 маршрутів продукції АПК недоцільно – всього 192 станції [25,26].

3.4 Визначення районів можливої концентрації вантажних операцій з вантажами продукції АПК

На базі знайденої підмножини вузлових станцій S^* необхідно сформувати райони можливої концентрації вантаження продукції АПК 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): $Q_f = q_u, f = 0, (Q_f \in R_u, f \in R_u, q_u \in s^*)$.

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 $R = \{R_1, R_2, \dots, R_m, \dots, R_m\}$, що включає 18 районів ($m=18$) можливої концентрації вантаження продукції АПК (таблиця 3.3)

Таблиця 3.3 – Райони можливої концентрації вантаження продукції АПК

№ 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, Головаши́вка
8	Сумська	Суми	7121	1047	Торопилівка, Сироватка, Баси, Головаши́вка
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 продукції АПК 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 продукції АПК

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 продукції АПК в підсумковій підмножині R^* повинен бути максимальним, а загальна величина витрат, що пов'язані з концентрацією вантаження продукції АПК і формуванням маршрутів продукції АПК 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 – Торопівка 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 продукції АПК 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 продукції АПК 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 продукції АПК;

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 продукції АПК у якому є найбільш ефективною (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Ефективні райони концентрації вантаження продукції АПК

№ п/п	Вузлова станція s_n^*	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	Торошилівка	Суми, Сироватка, Баси, Головашиївка	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 продукції АПК включено 36 станцій, що за мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний обсяг вантаження продукції АПК маршрутами не менше 50 тис. вагонів або близько 3,3 млн. т на рік, що становить приблизно 15% від загального обсягу перевезень продукції АПК.

Висновок. Проведені дослідження дозволили констатувати наступне:

1 Показано, що одна із найважливіших ознак при перевезенні продукції АПК у морські порти є значна розкиданість станцій вантаження, при чому близько 80% із них, нажаль, не можуть відвантажувати й формувати маршрутні поїзди продукції АПК. Організація відправницької маршрутизації

перевезень залізницею продукції АПК можлива за створення необхідної мережі вузлових станцій для концентрації вантаження продукції АПК. Доставка продукції АПК 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 продукції АПК. 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 продукції АПК.

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 продукції АПК включено 36 станцій, що за мінімальних додаткових витрат забезпечує максимальний сумарний обсяг вантаження маршрутами продукції АПК не менше 50 тис. вагонів чи близько 3,3 млн. т на рік, що складає близько 15% від загального обсягу перевезень продукції АПК залізницею України.

4 Визначення економічного ефекту щодо запропонованої системи перевезення експортної сільськогосподарської продукції залізницею

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 продукції АПК 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 2021 по 2025 роки) наведено на рисунку 4.1 [30]

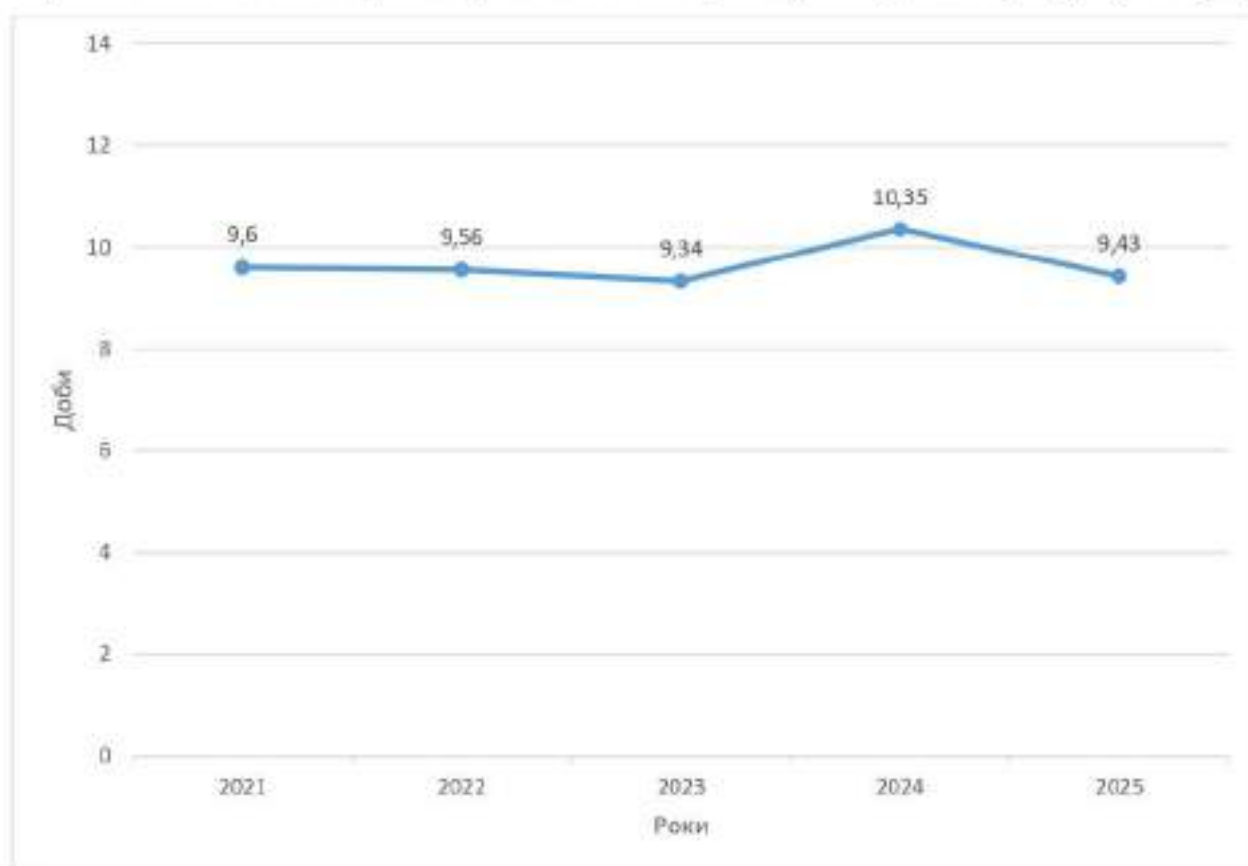


Рисунок 4.1 Середній обіг вагона-зерновоза за 2021-2025 роки

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:

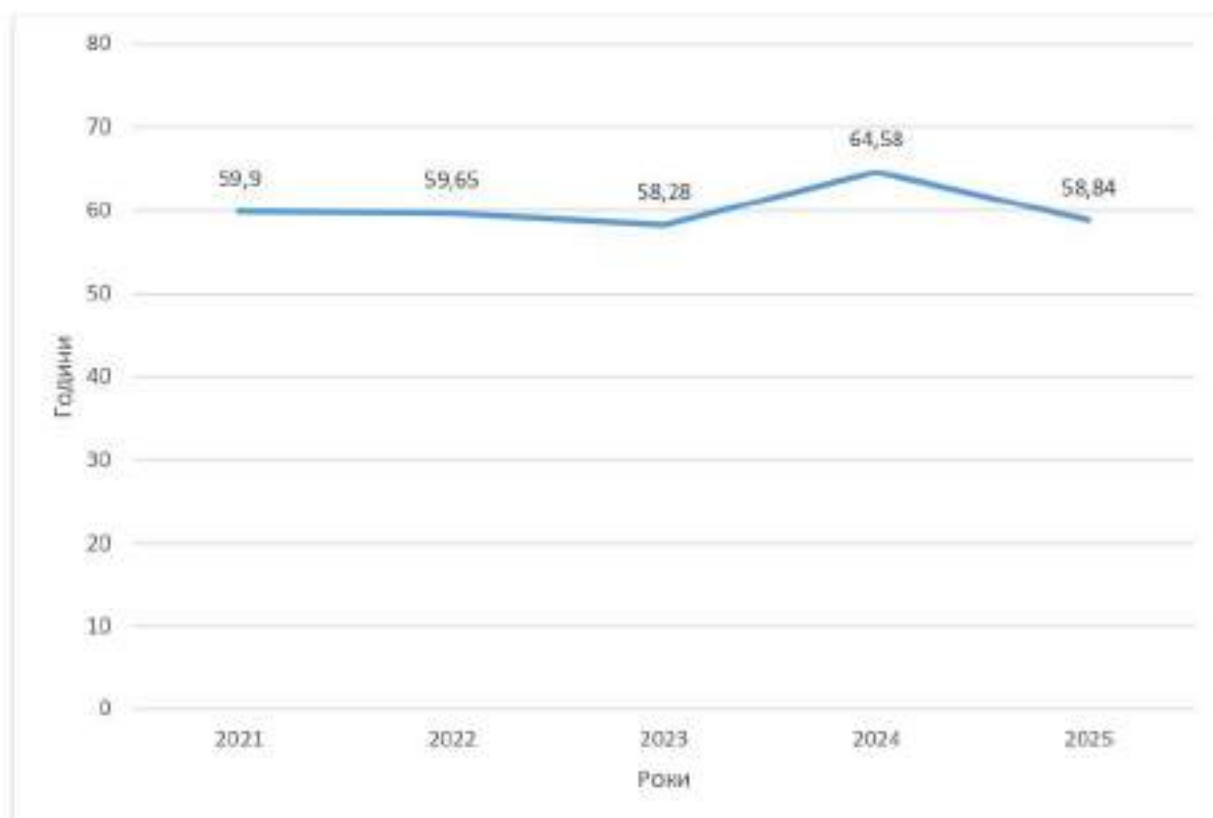


Рисунок 4.2 Середній простій вагона-зерновоза за останні 5 років

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 спрогнозовані значення простоїв вагонів-зерновозів на майбутні 5 років:

$$y^{2026} = 58,84 * 0,996 = 58,60 \text{ год}$$

$$y^{2027} = 58,60 * 0,996 = 58,37 \text{ год}$$

$$y^{2028} = 58,37 * 0,996 = 58,14 \text{ год}$$

$$y^{2029} = 58,14 * 0,996 = 57,90 \text{ год}$$

$$y^{2030} = 57,90 * 0,996 = 57,67 \text{ год.}$$

Укрупнені загальні питомі витрати на одну вагоно-годину у русі з урахуванням усіх витрат (у русі та простої) відрізняються по регіональних філіях. Розглянемо ту частину перевезень, коли замаршрутизований вагонопотік з ефективних районів концентрації вантаження продукції АПК 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:

$$6,49 * 0,271 + 4,57 * 0,513 + 3,91 * 0,216 = 4,95 \text{ грн за годину.}$$

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 продукції АПК

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:

$$P^{2026} = 58,60 * 4,95 * 3917 = 1136204,19 \text{ грн};$$

$$P^{2027} = 58,37 * 4,95 * 3917 = 1131744,69 \text{ грн};$$

$$P^{2028} = 58,14 * 4,95 * 3917 = 1127285,18 \text{ грн};$$

$$P^{2029} = 57,90 * 4,95 * 3917 = 1122631,79 \text{ грн};$$

$$P^{2030} = 57,67 * 4,95 * 3917 = 1118172,28 \text{ грн}.$$

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]:

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

де E_n – коефіцієнт, який визначає річний банківський відсоток по депозитних внесках (13%), 0,13;

I – очікуваний середньорічний рівень інфляції протягом життєвого циклу проекту в частках одиниці, (9%), 0,09;

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, себто строк із 2026 до 2030 року. Отже, коефіцієнти приведення результатів й витрат різних років до розрахункового року складатимуть

$$\alpha_{2026} = \left(\frac{1 + 0,13}{1 + 0,09 + 0,01} \right)^{5-1} = \left(\frac{1,13}{1,10} \right)^4 = 1,114;$$

$$\alpha_{2027} = \left(\frac{1 + 0,13}{1 + 0,09 + 0,01} \right)^{5-2} = \left(\frac{1,13}{1,10} \right)^3 = 1,084;$$

$$\alpha_{2028} = \left(\frac{1 + 0,13}{1 + 0,09 + 0,01} \right)^{5-3} = \left(\frac{1,13}{1,10} \right)^2 = 1,055;$$

$$\alpha_{2029} = \left(\frac{1 + 0,13}{1 + 0,09 + 0,01} \right)^{5-4} = \left(\frac{1,13}{1,10} \right)^1 = 1,027;$$

$$\alpha_{2030} = \left(\frac{1 + 0,13}{1 + 0,09 + 0,01} \right)^{5-5} = \left(\frac{1,13}{1,10} \right)^0 = 1,00.$$

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 5953,49 тис. грн.

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

Показники	Роки				
	2026	2027	2028	2029	2030
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	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
Загальні річні витрати для визначених районів при середньому навантаженні 3917 вагонів, тис. грн	1136,20	1131,74	1127,29	1122,63	1118,72
Коефіцієнт приведення до розрахункового року	1,114	1,084	1,055	1,027	1
Загальні річні витрати для визначених районів з урахуванням коефіцієнту приведення, тис. грн	1265,73	1226,81	1189,29	1152,94	1118,72
Загальні річні витрати наростаючим підсумком, тис. грн	1265,73	2492,54	3681,83	4834,77	5953,49

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				
	2026	2027	2028	2029	2030
1	2	3	4	5	6
Середній простий вагону на технічних станціях після впровадження маршрутизації, год	41,02	40,86	40,70	40,53	40,37
Вартість 1 години простою вагону, грн	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95
Загальні річні витрати для визначених районів при середньому навантаженні 3917 вагонів, тис. грн	795,34	792,24	789,14	785,84	782,74
Коефіцієнт приведення до розрахункового року	1,114	1,084	1,055	1,027	1
Загальні річні витрати для визначених районів з урахуванням коефіцієнту приведення, тис. грн	886,01	858,79	832,54	807,06	782,74
Загальні річні витрати наростаючим підсумком, тис. грн	886,01	1744,80	2577,34	3384,40	4167,14

Сумарні загальні річні витрати після впровадження запропонованої концентрації маршрутизації складуть 4167,14 тис. грн.

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

$$5953,49 - 4167,14 = 1786,35 \text{ тис. грн.}$$

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

продукції АПК. Розрахунками встановлено, що внаслідок реалізації пропозиції щодо запропонованих районів концентрації вантаження експортної продукції АПК 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 продукції АПК через західні сухопутні переходи становитиме 1 786,35 тис. грн.

Висновки

І Встановлено, що оскільки Україна є аграрною державою, то АПК - один із ключових комплексів економіки. Сільськогосподарська галузь є основою експорту країни, тому її варто розглядати базою та джерелом для розвитку більшості галузей агропромислового комплексу. Вона напряду впливає на формування валютних надходжень країни за рахунок експорту (майже 56% у 2025 році), а також на формування значної частини доходу сільськогосподарських виробників. Крім того, ця 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 продукції АПК територією України (близько 70% від загального обсягу). 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 збільшити свою частку ринку перевезень продукції АПК.

Проаналізовано публікації вітчизняних й закордонних науковців щодо удосконалення вантажної і комерційної роботи під час доставки продукції АПК й виявлено, що не знайдено повного вирішення питання щодо економічної ефективності концентрації й формування маршрутів з експортною продукцією АПК в конкретних умовах, зокрема щодо полігону регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця».

2. Встановлено, що експорт продукції АПК 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%, за 2025 рік – до 91,1%). Експорт продукції АПК через сухопутні переходи (залізниця та автотранспорт) має обернену тенденцію і поступово втрачає частку в експортному потенціалі продукції АПК (22,0% - за 2023 рік, 11,7% - за 2024

рік, 8,9% - за 2025 рік) при беззаперечному лідерстві залізничного транспорту (в 4 рази перевищує обсяги експорту продукції АПК автотранспортом). Залізниця залишається лідером і в підвезенні експортної продукції АПК 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 експортної продукції АПК.

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 час знаходження 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 збереженості 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 експортної продукції АПК у морські порти є значна розкиданість станцій вантаження, при чому близько 80% із них, нажаль, не можуть відвантажувати й формувати маршрутні поїзди з продукції АПК. Організація відправницької маршрутизації перевезень залізницею продукції АПК можлива за створення необхідної мережі вузлових станцій для концентрації вантаження продукції АПК. Доставка продукції АПК 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 продукції АПК. 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 продукції АПК.

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 продукції АПК включено 36 станцій, що за мінімальних додаткових витрат забезпечує максимальний сумарний обсяг вантаження продукції АПК маршрутами не менше 50 тис. вагонів чи близько 3,3 млн. т на рік, що складає близько 15% від загального обсягу перевезень продукції АПК залізницею.

4. Розраховано загальний економічний ефект від маршрутизації відправок з запропонованих районів концентрації вантаження продукції АПК. Розрахунками встановлено, що внаслідок реалізації пропозиції щодо запропонованих районів концентрації вантаження експортної продукції АПК 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 1 786,35 тис. грн.

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

Список використаних джерел

1 USDA підвищило прогноз врожаю та запасів пшениці в Україні на 2025/26 МР – URL: <https://agroconf.org/content/usda-pidvishchilo-prognoz-vrozhayu-ta-zapasiv-pshenici-v-ukrayini-na-202526-mr/> (дата звернення 11.04.2026).

2 Торік залізницею перевезено майже 29 млн т зернових вантажів – URL: <https://www.railinsider.com.ua/torik-zaliznyczeyu-perevezeno-majzhe-29-mln-t-zernovyh-vantazhiv/> (дата звернення 11.04.2026).

3 Вантажні перевезення "Укрзалізниці" в 2025 році. – URL: https://cfts.org.ua/infographics/vantazhni_perevezennya_ukrzaliznitsi_v_2025_rotsi?fbclid=IwY2xjawIQZWhleHRuA2FlbQlXMQABHcscBrNA66L2cGW36rjEwITQzoB5VGGfRhLfdm3ODuvPY0uq95PjKBCx8Q_acm_txskLB9JFhPGpNdFwSHj-Q (дата звернення 11.04.2026).

4 Статистика «зернового коридору». – URL: <https://uga.ua/statistika-zernovogo-koridoru/> (дата звернення 12.04.2026).

5 Стан зовнішньої торгівлі продуктами АПК. – URL: <https://uga.ua/eksportni-pokazniki/> (дата звернення 12.04.2026).

6 Проблеми та перспективи аграрної галузі в 2025 році – URL: <https://uga.ua/meanings/problemy-ta-perspektyvy-agrarnoyi-galuzi-v-2025-rotsi-interv-yu-ministra-agrarnoyi-polityky-ta-prodovolstva/> (дата звернення 12.04.2026).

7 Центр транспортних стратегій. – URL: <https://cfts.org.ua/imglib/newimage/infographics/144426/1058.png> (дата звернення 13.04.2026).

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 13.04.2026).

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., P. 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 перемолю залізницею в 2025 році – URL: <https://zernovoz.ua/blog/monitoring-1/post/obsiag-perevezennia-zerna-i-produktiv-peremolu-zaliznitseiu-v-2025-rotsi-168> (дата звернення 13.04.2026).

16 Загальна структура станцій навантаження зерна у 2025 році. *Газета «Магістраль»* – URL: <https://info.uz.ua/infografika/zagalna-struktura-stantsiy-navantazhennya-zerna> (дата звернення 14.04.2026).

17 Аграрне інформаційне агентство – URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/obmezenna-ekspluatacii-vagoniv-povinho-vidbuvatisa-viklucno-za-tehnicnim-standom-uza> (дата звернення 14.04.2026).

18 Боровой Н.С. Маршрутизация перевозень 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: 14.04.2026).

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., Боровець Ю-Н.І., Сеник С.Г., Шаталін В.В. Інтєроперабельність та інтелектуальний моніторинг інфраструктури і рухомого складу залізничної України. *Тези Шостої всеукраїнської науково-практичної конференції «Транспортні технології та безпека дорожнього руху» (Запоріжжя, 20-21 березня 2025 р.)* Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. С. 46-47.

33 Запара В.М., Сеник С.Г., Боровець Ю-Н.І., Шаталін В.В. Експлуатаційні та правові аспекти інтєроперабельності залізничного транспорту України за військового стану. *Тези 38-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (9-10 жовтня 2025 року, м. Харків)*. Харків, УкрДУЗТ, 2025. С. 32-33.

34 Шаталін В., Середін А. Стан і перспективи ринку оренди та оперування залізничними вагонами в Україні. *Тези 85-ї студентської наукової конференції УкрДУЗТ: (Харків, 10-11 грудня 2025 р.)* Харків: УкрДУЗТ. с. 324-325.

35 Козар Л., Бабенко А. Студентська навчальна звітність. Загальні вимоги щодо побудови, викладення та оформлення текстової частини: *метод. посібник*. 2-ге вид., перероб. та доп. – Харків: УкрДУЗТ, 2025. – 66 с.

АКТ

перевірки кваліфікаційної роботи магістра на наявність ознак академічного плагіату.

Відповідно до даних сервісу Strikeplagiarism.com кваліфікаційна робота «Удосконалення перевезення експортної продукції АПК залізницею України», автор – ШАТАЛІН Владислав Віталійович, містить 46,1 % текстових збігів.

Ознаки академічного плагіату – відсутні.

Перевірку виконала:

доцент кафедри управління

вантажною і комерційною роботою  Ганна БАУЛІНА

01.06.2026 р.