

ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РУСТАМОВ РУСТАМ ШАІКОВИЧ

УДК 656.225:656.213


ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
ПРИ ПЕРЕВЕЗЕННІ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Р. Ш. Рустамов

Науковий керівник Р. В. Вернигора, канд. техн. наук, доцент

Дніпро – 2020

АНОТАЦІЯ

Рустамов Р. III. Підвищення ефективності експлуатації рухомого складу залізничного транспорту при перевезенні зернових вантажів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, 2020.

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують наукове завдання підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом на експорт за рахунок формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутних поїздів.

Метою дослідження є підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти за рахунок формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутних поїздів.

Для досягнення вказаної мети у дисертації були поставлені та вирішені наступні задачі:

- аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності системи експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів;
- дослідження існуючої системи забезпечення експортних перевезень зернових вантажів в Україні та показників експлуатації рухомого складу залізничного транспорту при перевезенні зерна;
- дослідження умов ефективної експлуатації рухомого складу залізниць при перевезенні зерна;
- удосконалення імітаційної моделі процесу перевезення зернових вантажів залізничним транспортом;
- формування експортно-орієнтованої мережі вузлових залізничних станцій для забезпечення навантаження зернових маршрутних поїздів;

– оцінка ефективності експлуатації рухомого складу залізниць при організації руху зернових маршрутних поїздів.

Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані для удосконалення та оцінки системи організації вагонопотоків при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у порти на експорт, планування розподілу вагонів-зерновозів під навантаження зерна та тягового рухомого складу під зернові поїзди. Результати роботи використані для удосконалення технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти Одеського регіону та у навчальному процесі при підготовці магістрів Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за освітньою програмою 275.02 «Транспортні технології на залізничному транспорті».

Основний текст дисертації складається із чотирьох розділів.

У першому розділі виконано всебічний аналіз проблеми підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів до морських портів на експорт. Зернова галузь є базою та джерелом сталого розвитку агропромислового комплексу й основою аграрного експорту України. Наразі Україна впевнено займає лідируючі позиції серед світових виробників і експортерів зерна.

Більше 95% експорту українського зерна здійснюється через морські порти; при цьому майже 70% зернових вантажів у порти доставляється залізничним транспортом. Аналіз показує, що існуюча система залізничних перевезень зернових вантажів на експорт часто демонструє свою неефективність. Серед основних проблем – значна розпорошеність та низька навантажувальна спроможність станцій, зношеність вагонів та недосконала система оперування ними, дефіцит локомотивної тяги, організація перевезень значних обсягів зерна вагонними відправками. Таким чином, удосконалення системи експлуатації рухомого складу залізниць при організації перевезень зернових вантажів на експорт є одним із ключових завдань для зниження транспортної складової та забезпечення конкурентності українського зерна на зовнішніх ринках. Одним з шляхів підвищення конкурентоспроможності вітчизняного зерна на світових ринках є по-

будова ефективної системи експлуатації рухомого складу залізничного транспорту при організації експортних перевезень.

Аналіз наукових джерел та досвіду роботи залізниць у інших країнах показує, що найбільш перспективним напрямком удосконалення системи перевезень масових вантажів, зокрема, зерна, є маршрутизація вагонопотоків. Маршрутизація дозволяє скоротити строки доставки вантажів, покращити показники експлуатації рухомого складу та відповідно зменшити витрати на перевезення.

У другому розділі виконано аналіз існуючої системи забезпечення експорту українського зерна, а також досліджено параметри вагонопотоків з зерном у напрямку морських портів.

Система, що забезпечує експорт зерна, включає систему зберігання зерна, перевалочні потужності морських портів та систему транспортування зерна.

Система зберігання зерна, що забезпечує його експорт, представлена близько 1200 елеваторами загальною потужністю 48 млн. т. та наразі активно розвивається. Перевалку зерна в 13 портах здійснюють близько 30 терміналів, загальною потужністю 66 млн. т. Аналіз показав, що наявна елеваторна та портова інфраструктура, а також динаміка її розвитку дають підстави позитивно оцінювати можливості по освоєнню перспективних обсягів експорту зерна.

Транспортування зерна від лінійних елеваторів до портів здійснюється залізничним (майже 70% обсягів), автомобільним (близько 30%) та річковим (до 3%) транспортом. Автомобільний транспорт, забезпечуючи гнучкість та зручність системи транспортування для клієнтів, в першу чергу невеликих партій на короткі відстані, має найвищі тарифи. Окрім того, перевантажені автомобілі-зерновози руйнують дорожнє покриття та забруднюють повітря продуктами згоряння палива. Річкові перевезення мають найнижчу собівартість, однак нерозвинена портова інфраструктура та дефіцит суден наразі не дозволяють повністю використовувати потенціал річкового транспорту для перевезення українського зерна.

Однією з ключових проблем існуючої системи залізничних перевезень зернових вантажів є суттєва зношеність парку вагонів, а також неефективна си-

стема їх експлуатації. Так, з 2016 р. парк зерновозів збільшився на 40%, однак обіг вагона виріс на 30%. При цьому в структурі обігу зерновоза власне операція руху складає лише 20%, а близько 42% – простої на технічних станціях. Однією з причин такої ситуації є значна розпорошеність станцій навантаження зерна. Результати статистичної обробки даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонів з зерном показали, що з 572 станцій половина вантажать у середньому менше 1 вагона на добу, а третина станцій здійснює навантаження менше 30 днів на рік. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є концентрація навантаження зерна на вузлових станціях.

Перевезення зерна характеризуються значною як сезонною, так внутрішньо місячною нерівномірністю. Сезонна нерівномірність коливається в межах 1,3...1,4, а добова нерівномірність навантаження зерна – в межах від 1,15 (у листопаді) до 1,94 (у червні).

У третьому розділі отримано залежності, що дозволяють оцінити ефективність використання залізничного транспорту, зокрема, порівняно з автомобільним, в залежності від умов експлуатації рухомого складу, а також удосконалено імітаційну модель залізничного напрямку для дослідження руху вагонів з зерном.

В дисертації встановлено, що залізничний транспорт є більш конкурентоспроможним з автомобільним на відстанях більше 150 км під час перевезення у вагонах Укрзалізниці та на відстанях більше 500 км – у нових власних вагонах.

Визначено, що мінімальні додаткові витрати, які пов'язані з накопиченням вантажу на маршрут, досягаються при періоді у 4...6 діб та відстані підвозу автотранспортом до 30 км. Окрім того, встановлено, що за наявної інфраструктури для накопичення та формування маршруту відправник може скоротити витрати на перевезення на 30 грн на кожній тоні зерна, порівняно з вагонними відправками, а за наявності і парку власних вагонів – на 50...60 грн/т. У випадку ж відсутності необхідної інфраструктури або парку вагонів маршрутизація за існуючої тарифної політики для відправника буде економічно недоцільною.

З огляду на стохастичний характер роботи залізниць, для оцінки ефективності різних варіантів технології перевезень зернових вантажів у морські порти доцільно використовувати імітаційне моделювання. З цією метою в дисертації

було удосконалено імітаційну модель вантажних перевезень на залізничному напрямку за рахунок врахування можливості організації руху відправницьких маршрутів з вузлових станцій навантаження, зокрема, за розкладом, що дозволяє досліджувати ефективність різних технологій організації вагонопотоків з зерном. Імітаційна модель транспортної системи доставки зерна розроблена на основі об'єктно-орієнтованого підходу і реалізована у вигляді програмного комплексу.

У четвертому розділі вперше розроблено методику вибору вузлових станцій та районів концентрації навантаження зерна для формування відправницьких маршрутів, що базується на використанні апарату кластерного аналізу, теорії множин та багатокритеріальної оптимізації і дозволяє врахувати як множину інфраструктурно-технологічних параметрів транспортної мережі, так і експлуатаційно-економічні критерії ефективності.

На основі розробленої методики з використанням агломеративного алгоритму кластерного аналізу, що базується на стратегії об'єднання Варда та «канберрівській» мірі відмінності об'єктів, з множини 572 станцій було виділено 43 станції можливої концентрації навантаження зерна.

Задача формування районів концентрації навантаження навколо вузлових станцій формалізована як задача багатокритеріальної оптимізації з булевими змінними. У підсумковому рішенні до складу 24 районів концентрації навантаження зерна включено 70 станцій, що при мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний обсяг навантаження зерна маршрутами близько 7,5 млн. т. на рік.

Виконані за допомогою розробленої імітаційної моделі дослідження показали, що застосування відправницької маршрутизації дозволяє скоротити обіг вагона при перевезенні зерна у порт на 27%, а застосування технології руху відправницьких маршрутів за розкладом дозволяє скоротити обіг вагона на 50% та підвищити до 2 разів його продуктивність, у порівнянні з перевезенням вагонними відправками.

Ключові слова: експорт зерна, залізничні перевезення, експлуатація вагонів, маршрутизація перевезень, концентрація навантаження, імітаційне моделювання, обіг вагону.

ABSTRACT

Rustamov R. Improving the operational efficiency of railway rolling stock during the transportation of grain cargo. – Manuscript of qualification scientific work.

The dissertation for obtaining a scientific degree of a Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), specialty 05.22.20 – operation and repair of vehicles. – Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2019.

The dissertation contains the results obtained by the author, which together solve the scientific problem of increasing the efficiency of rolling stock operation in the transportation of grain cargo by rail for export by forming an export - oriented network of nodal stations loading grain train trains.

The aim of the study is to increase the efficiency of rolling stock operation in the transportation of grain cargo by rail to seaports by forming an export-oriented network of nodal stations loading grain train trains.

To achieve this goal, the following tasks were set and solved in the dissertation:

- analysis of modern directions for increasing the efficiency of the rolling stock operation in transportation of grain cargo;
- study of the existing system of providing export transportation of grain cargoes in Ukraine and indicators of railway rolling stock operation during grain transportation;
- study of conditions of effective railway rolling stock operation during grain transportation;
- improvement of the simulation model of the process of grain cargoes rail transportation;
- formation of export-oriented network of node-stations to ensure loading of grain route trains;
- evaluation of the efficiency of railway rolling stock operation in the organization grain route trains movement.

The scientific results obtained in the thesis, as well as the developed methods,

can be used to improve and evaluate the system of organization of wagon flows for the transportation of grain cargo by rail to ports for export, planning the distribution of grain cars for loading and traction rolling stock for grain trains. The results of this work were used to improve the technology of rail transportation of grain cargo to the seaports of the Odessa region and in the educational process in the preparation of masters in the Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan by educational program 275.02 “Transport technologies in railway transport”.

The main text of the dissertation consists of four sections.

The first section contains a comprehensive analysis of the problem of improving the efficiency of rail transportation of grain cargo to seaports for export. The grain business is the basis and source of the continuous development of the agro-industrial complex and the basis of the agricultural export of Ukraine. Now Ukraine is confidently taking a leading position among world grain producers and exporters.

More than 95% of Ukrainian grain export is carried out through seaports; more than 60% of grain cargoes are delivered to ports by rail. The analysis shows that the existing system of rail transportation of grain goods for export often shows its inefficiency. Among the main problems are the considerable dispersion and low loading capacity of the stations, the deterioration of wagons and the imperfect system of handling them, the shortage of locomotive traction, and the organization of transportation mainly by wagon consignments. Thus, increasing the efficiency of transporting grain cargo in the railway-water connection is one of the key tasks to reduce logistics and energy costs in organizing the export of Ukrainian grain. One of the ways to increase the competitiveness of domestic grain on world markets is to build an effective system for operating rolling stock of railway transport in organizing export transportation.

An analysis of scientific sources and railway experience in other countries shows that the most promising direction for improving the system of transportation of bulk goods, in particular grain, is the routing of wagon flows. Routing can reduce the time of delivery of goods, improve the performance of rolling stock and, accordingly, reduce the cost of transportation.

The second section analyzes the existing system for ensuring the export of

Ukrainian grain and explores the parameters of wagon flows with grain in the direction of seaports.

The system for exporting grain includes a grain storage system, transshipment facilities at sea ports and a grain transportation system.

Now the grain storage system, which ensures its export, is represented by about 1,200 elevators with a total capacity of 48 million tons and is now actively developing. About 30 terminals carry out grain transshipment at 13 ports, with a total capacity of 66 million tons. The analysis showed that the existing elevator and port infrastructure, as well as its development dynamics, give reason to positively assess the opportunities for mastering promising volumes of Ukrainian grain export.

Grain is transported from linear elevators to ports by rail (up to 70% of the volume), road (about 30%) and river (up to 3%) transport. Automobile transport, providing the flexibility of logistics and ease of transportation for customers, especially for small parties over short distances, has the highest tariffs. In addition, overloaded grain trucks destroy the road surface and pollute the air with fuel combustion products. River transport has the lowest cost, however, the undeveloped port infrastructure and the shortage of vessels do not currently allow the full use of the potential of river transport for the transportation of Ukrainian grain.

One of the key problems of the existing system of rail transportation of grain cargo is the significant deterioration of the cars fleet, as well as an inefficient system of their operation. So, since 2016, the grain-cars fleet has increased by 40%, but wagons turnover has increased by 30%. Moreover, in the structure of the grain carrier's turnover, the actual movement operation is only 20%, and about 42% is wagons demurrage at technical stations. One of the reasons for this situation is the significant dispersion of grain loading stations. The results of statistical processing of ASKVP-UZE data about the movement of wagons with grain showed that out of 572 stations, half of them load an average of less than 1 wagon per day, and a third of the stations load less than 30 days per year. One way to solve this problem is to concentrate loading grain at the nodal stations.

Grain transportation is characterized by significant seasonal and monthly une-

venness. Seasonal unevenness ranges from 1.3 to 1.4, and daily unevenness of grain loading ranges from 1.15 (in November) to 1.94 (in June).

In the third section, for the first time, a set of dependencies is obtained that determine the efficiency of using road or rail transport for the transportation of grain goods depending on the distance, type of rolling stock ownership and the operating system of the rolling stock.

The dissertation found that rail transport is more competitive than road transport at distances of more than 200 km when transported in Ukrzaliznytsia wagons and at distances of more than 500 km in new own wagons.

It was determined that the minimum additional costs that are associated with the accumulation of cargo for the route train are achieved with a period of 4 ... 6 days and a distance of road transport up to 30 km. In addition, it was found that with the existing infrastructure for the accumulation and formation of the route train, the sender can reduce transportation costs by 30 UAH for each ton of grain, in comparison with carload shipments, and if there is also a fleet of own wagons – by 50...60 UAH / t. In the absence of the necessary infrastructure or fleet of wagons, routing under the existing tariff policy for the sender will be economically inexpedient.

Given the stochastic nature of the railways work, it is advisable to use simulation modeling to evaluate the effectiveness of various options for the technology of rail transportation of grain cargo to sea ports. For this purpose, in the dissertation, the simulation model of freight transportation in the railway direction was improved by taking into account the possibility of organizing the movement of shipping routes from hub loading stations, in particular according to a schedule. This model allows you to study the effectiveness of different technologies for organizing wagon flows with grain. The simulation model of the grain delivery process is developed on the basis of an object-oriented approach and implemented as a software package.

In the fourth section, for the first time, a methodology has been developed for choosing nodal stations and concentration areas of grain loading for the formation of route trains, which is based on the use of cluster analysis apparatus, set theory and multicriteria optimization. This methodology allows to take into account both the set of in-

frastructural and technological parameters of the transport network and operational and economic criteria of effectiveness.

On the basis of the developed methodology using the agglomerative algorithm of cluster analysis, which is based on the strategy of combining Ward and the “Canberra” measure of objects differences, 43 stations of possible concentration of grain loading were allocated from a set of 572 stations.

The task of forming loading concentration areas around the node stations is formalized as a multi-criteria optimization problem with Boolean variables. In the final decision, 70 stations were included in 24 districts of grain loading concentration, which, with minimal additional costs, provides the maximum total volume of grain loading by route trains of about 7.5 million tons per year.

Studies carried out using the developed simulation model showed that the use of sender routing reduces the wagon turnover when transporting grain to the port by 27%, and the use of technology for the movement of route trains by schedule allows to reduce the wagon turnover by 50% and increase its productivity up to 2 times, by compared to carloads.

Keywords: grain export, rail transportation, wagon operation, routing, loading concentration, simulation, wagon turnover.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*У наукових фахових виданнях, затверджених МОН України,
що входять до наукометричних баз даних:*

1 Рустамов, Р.Ш. Оценка перспектив развития зерновой логистики в Украине /Р.Ш. Рустамов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 8. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – с. 127-133.

2. Коробйова, Р.Г. Внедрение бимодальных технологий перевозки зерновых грузов в Украине/ Р.Г. Коробйова, Р.Ш. Рустамов, С. В. Гревцов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 9. – Д.: ДНУЗТ, 2015. – с. 29-34.

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

4. Козаченко, Д.М. Оценка эффективности технологии железнодорожных перевозок зерновых грузов с использованием имитационного моделирования/Д.М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н.И. Березовый, Р. Ш. Рустамов // Вестник БелГУТа. – 2015. – №2 (31). – с.109-113.

5 Kozachenko, D. Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine/ D. Kozachenko, R. Vernigora, R. Rustamov // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ, – Д.: ДНУЗТ, 2017. – №2(68) – с. 56-70.

6. Вернигора, Р. В. Анализ системы хранения украинского зерна/ Р.В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 13. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – с. 10-18.

7. Kozachenko, D. Resource-saving technologies of railway transportation of grain freights for export / D. Kozachenko, R. Vernigora, V. Kuznetsov, R. Rustamov, A. Parahov, N. Logvinova //Archives of Transport, – 2018. – Vol. 45, Issue 1. – p.p. 53-64.

8. Вернигора, Р. В. Перспективи експортних перевезень зернових вантажів у контейнерах / Р.В. Вернигора, А.М. О कोरोков, П.С. Цупров, Р.Ш. Рустамов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 16. – Дніпро: ДНУЗТ, 2018. – с. 22-30.

Праці апробаційного характеру:

9. Козаченко, Д.М. Напрямки підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом/ Д.М. Козаченко, Р. Ш. Рустамов, Х. В. Матвієнко // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 6. – Д.: ДНУЗТ, 2013. – с. 56-60

10. Козаченко, Д.М. Підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом/Д.М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р.Ш. Рустамов // Українські залізниці – 2014. №7(13). – с.56-59.

11. Mozolevych G. The research of effect of train flows parameters and technical and technological parameters of marshalling yard on its indicators by simulation/ G. Mozolevych, O. Puhach, R. Rustamov // Transport Problems 2015: Proceedings IV Symposium of young researchers – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2015 – p. 770-778.

12. Козаченко Д. Н., Рустамов Р. Ш., Ким М. Э. Исследование железнодорожных перевозок зерновых грузов в Украине // «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий»: Тезисы 3-й междун. научн.-практ. конф. – Днепропетровск. – 2014. – с. 8-9.

13. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Оцінка ефективності відправницької маршрутизації перевезення зернових вантажів залізничним транспортом парку //«Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 74-ї наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – с. 183-184.

14. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Перспективи використання бімодальної технології при перевезенні зернових вантажів парку //«Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 74-ї наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – с. 184-185.

15. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Анализ инфраструктуры Украины по обеспечению перспективных объемов переработки и экспорта зерна //«Развиток теории та практики функціонування залізничних станцій»: Тези наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2014. – с. 34-37.

16. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Визначення витрат на

перевезення зернових вантажів у морські порти України // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 75-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, 2015. – с. 138-139.

17. Козаченко Д.М., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Повышение эффективности экспортных железнодорожных перевозок зерна за счет концентрации грузопотоков // «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті»: Тези 77-ї міжн. наук.-практ. конф. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – с. 106-107.

18. Козаченко Д.М., Коробйова Р.Г., Рустамов Р.Ш. Удосконалення технічного забезпечення та технології експортних перевезень зернових вантажів в Україні // «Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку»: Тези міжн. наук.-практ. конф. – Дніпропетровськ. – 2015. – с. 166-167.

19. Вернигора Р.В., Козаченко Д.М., Рустамов Р.Ш. Дослідження ефективності перевезення зернових вантажів маршрутами за розкладом // «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий»: Тезисы 4-й междунаучн.-практ. конф. – Днепропетровск: ДНУЖТ – 2015. – с. 28-30.

20. Козаченко Д.Н., Вернигора Р.В., Рустамов Р.Ш. Исследование вагонопотоков с зерном на основе имитационного моделирования // «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий»: Тезисы 4-й междунаучн.-практ. конф. – Днепропетровск: ДНУЖТ – 2015. – с. 46-49.

21. Козаченко Д. М., Рустамов Р. Ш., Вернигора Р. В. Оптимізація перевезень зернових вантажів маршрутами із застосуванням методів нечіткого керування // «Енергооптимальні технології перевізного процесу»: Тези І-ї наук.-практ. конф. – Моршин – ДНУЗТ. – 2016. с.71-72.

22. Козаченко Д.М., Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш. Аналіз досвіду США та Канади щодо організації залізничних перевезень зернових вантажів // «Енергооптимальні технології перевізного процесу»: Тези 2-ї наук.-практ. конф. – Львів – ДНУЗТ. – 2017. с. 83-85.

23. Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш. Визначення вузлових станцій можливої концентрації навантаження зерна на основі методів кластерного аналізу // «Про-

блеми економіки та управління на залізничному транспорті – ЕКУЗТ 2017»: Матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції. – Харків: Харківська друкарня ПЗ, 2017. – с. 190-193.

24. Козаченко Д. Н., Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш. Аналіз залізничних перевезень зернових вантажів в порти України на експорт // «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств»: Тези 6-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ – 2017. – с. 72-74.

25. Вернигора Р. В., Березовий М.І., Рустамов Р. Ш. Інфраструктурне забезпечення експорту зерна в портах України // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 78-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ, 2018. – с. 132-133.

26. Вернигора Р. В., Цупров П. С., Рустамов Р.Ш. Перспективи мультимодальних перевезень зерна в Україні// «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті»: Матеріали міжн. наук.-практ. конф. – Львів: ДНУЗТ, 2018. – С. 25-27.

27. Вернигора Р. В., Мозолевич В. О., Рустамов Р. Ш. Перспективи перевезення зернових вантажів на експорт автомобільним та річковим транспортом // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 79-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ, 2019. – с. 152-154

28. Вернигора Р. В., Огороков А. М., Рустамов Р. Ш. Аналіз структури парку вагонів-зерновозів та проблем їх експлуатації в Україні // «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»: Тези 79-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ, 2019. – с.154-156

29. Вернигора Р. В., Рустамов Р. Ш., Нос О. І. Аналіз нерівномірності залізничних перевезень зернових вантажів // «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств»: Тези 8-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ – 2019. – с. 30-32.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	19
ВСТУП	20
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ	
ВАНТАЖІВ В УКРАЇНІ	26
1.1 Перспективи виробництва та експорту зерна в Україні	26
1.2 Проблеми експорту українського зерна та напрямки їх подолання....	29
1.3 Ефективність маршрутизації перевезення масових вантажів	34
1.4. Аналіз перспективного досвіду організації залізничних перевезень зернових вантажів	44
1.5. Висновки за розділом 1	49
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНА	50
2.1. Постановка завдань дослідження та визначення методів їх розв'язання	50
2.2 Сучасний стан системи зберігання зерна	53
2.3 Аналіз системи перевалки зерна в морських портах.....	58
2.4 Проблеми системи транспортування зернових вантажів	61
2.4.1 Перевезення зерна автомобільним транспортом.....	61
2.4.2. Перевезення зерна річковим транспортом	63
2.4.3. Залізничні перевезення зерна	66
2.4.4. Проблеми залізничних перевезень зернових вантажів на експорт.	70
2.5 Дослідження вагонопотоків з зерновими вантажами	76
2.5.1 Аналіз нерівномірності перевезень зерна	76
2.5.2. Визначення характеристик вагонопотоків з зерновими вантажами	83
2.6 Висновки за розділом	86

РОЗДІЛ 3. МАРШРУТИЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ	88
3.1 Проблеми організації залізничних перевезень відправницькими маршрутами	88
3.2 Визначення витрат на перевезення зерна у морські порти.....	92
3.2.1 Вартість перевезення зернових автомобільним транспортом.....	93
3.2.2 Вартість перевезення зернових залізничним транспортом.....	95
3.3 Імітаційне моделювання перевезення зернових вантажів залізничним транспортом.....	102
3.3.1 Структура імітаційної моделі	103
3.3.2 Визначення параметрів випадкових величин для моделювання руху зерновозів.....	107
3.3.3 Оцінка адекватності імітаційної моделі обігу зерновозів	110
3.4 Дослідження ефективності маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів	115
3.5 Висновки за розділом 3	120
РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ ЕКСПОРТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МЕРЕЖІ ЕЛЕВАТОРІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ	122
4.1 Концентрація вантажопотоків на вузлових елеватора	122
4.2 Визначення районів концентрації навантаження зерна	124
4.2.1 Постановка та формалізація задачі	124
4.2.2 Визначення вузлових станцій для навантаження маршрутів....	127
4.2.3 Визначення районів можливої концентрації навантаження зерна	133
4.2.4 Визначення ефективних районів концентрації навантаження зерна	135
4.3 Оцінка ефективності організації руху зернових маршрутів.....	139

4.3.1 Організація руху маршрутних поїздів з зерновими вантажами за розкладом.....	139
4.3.2 Оцінка ефективності маршрутизації перевезень зернових вантажів з використанням імітаційного моделювання.....	141
4.3.3 Розробка графіку руху зернових маршрутів та оцінка його техніко-експлуатаційних показників	145
4.4 Висновки за розділом 4	149
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	151
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	153
ДОДАТОК А. ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ	171
ДОДАТОК Б. ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРТОВОГО ТЕРМІНАЛУ	173
ДОДАТОК В. АНАЛІЗ ВАГОНОПОТОКІВ З ЗЕРНОМ.....	175
ДОДАТОК Г. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ДОСТАВКУ ЗЕРНА У ПОРТИ АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ.....	177
ДОДАТОК Д. ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ДОСТАВКУ ЗЕРНА У ПОРТИ ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ	178
ДОДАТОК Е. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «NITKI.EXE».....	187
ДОДАТОК Ж. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОВОГО ЕЛЕВАТОРА.....	190
ДОДАТОК З. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ДАНИХ ПРО ОБІГ ЗЕРНОВОЗІВ.....	191

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АРМ	Автоматизоване робоче місце
АСКВП УЗ-Є	Єдина автоматизована система керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці
АТ	Акціонерне товариство
ДДАЕУ	Дніпровський державний аграрно-економічний університет
ДНУЗТ	Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
ЄС	Європейський Союз
ЄСР	Єдина сітьова розмітка
ЗПП	Запірно-пломбувальний пристрій
КХП	Комбінат хлібопродуктів
МОН	Міністерство освіти і науки України
МТП	Морський торговельний порт
МХП	Миронівський хлібопродукт
ПАТ	Публічне акціонерне товариство
ПДВ	Податок на додану вартість
РЖД	Російські залізниці
РІС	Річкова інформаційна служба
РРМП	Розклад руху маршрутних поїздів
РФ	Російська Федерація
СМО	Система масового обслуговування
СНД	Співдружність незалежних держав
США	Сполучені Штати Америки
ТІС	Трансінвестсервіс
ТОВ	Товариство з обмеженою відповідальністю
ТРА	Техніко-розпорядчий акт станції
УЗ	Українська залізниця
УкрДУЗТ	Український державний університет залізничного транспорту
ЦТЛ	Центр транспортної логістики
LPI	Індекс ефективності логістики
USD	Долар США

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток економіки України в умовах глибоких євроінтеграційних процесів і глобалізації світової економіки суттєвим чином залежить від можливостей її підприємств створювати конкурентоспроможні продукти на світовому ринку. Одним зі стратегічних продуктів, які пропонує сьогодні Україна, є зерно. Зернова галузь є базою та джерелом сталого розвитку агропромислового комплексу й основою аграрного експорту України. Наразі Україна впевнено займає лідируючі позиції серед світових виробників і експортерів зерна. Так, в сезоні 2018/2019 при виробництві 70,1 млн. т. було експортовано 49 млн. т. зерна, що у грошовому еквіваленті склало близько 17% від загального обсягу українського експорту. Одним з шляхів підвищення конкурентоспроможності вітчизняного зерна на світових ринках є побудова ефективної системи організації експортних перевезень. Для України це завдання є особливо важливим так, як частка транспортних витрат у вартості вітчизняного зерна наразі становить 35%, у той час як у США та у країнах ЄС – 10...15%.

Більше 95% експорту українського зерна здійснюється через морські порти; при цьому майже 70% зернових вантажів у порти доставляється залізничним транспортом в основному з використанням електричної тяги, що на відміну від автоперевезень не потребує значних витрат нафтопродуктів, 80% обсягів яких Україною імпортуються. Разом з тим існуюча система залізничних перевезень зернових вантажів на експорт часто демонструє свою неефективність. Серед основних причин – як дефіцит справних вагонів-зерновозів, так і низька ефективність їх експлуатації – з 2012 р. обіг вагонів-зерновозів виріс на 84%, а їх продуктивність знизилась на 34%. Таким чином, удосконалення системи експлуатації рухомого складу залізниць при організації перевезень зернових вантажів на експорт є одним із ключових завдань для зниження транспортної складової та забезпечення конкурентності українського зерна на зовнішніх ринках. При цьому запропоновані техніко-технологічні рішення зазначеної проблеми повинні мати чітке наукове обґрунтування. У цьому зв'язку тема дисертаційної роботи, яка спрямована на підвищення ефективності експортних перевезень зернових вантажів за рахунок удосконалення системи експлуатації рухомого складу залізничного транспорту, є актуальною.

Зв'язок теми з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, які визначені у «Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 №430-р), «Стратегічного плану розвитку залізничного транспорту на період до 2020 року» (наказ Міністерства інфраструктури України від 21 грудня 2015 №547), «Експортній стратегії України на 2017-2021 р.р.» (розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2017 №1017-р), а також пов'язана з НДР, що виконані Дніпровським національним університетом залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Удосконалення технології роботи сортувальних комплексів станцій в умовах нерівномірності вхідного потоку поїздів» (№ державної реєстрації ДР 0116U003748), «Удосконалення методики оперативного планування роботи парку вантажних локомотивів на основі багатокритеріальної задачі про призначення (№ державної реєстрації ДР 0117U002064), «Удосконалення залізничних перевезень аграрної продукції на експорт» (№ державної реєстрації ДР 0117U006814).

Метою дослідження є підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти за рахунок формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутних поїздів. Поставлена мета досягається за рахунок вирішення наступних завдань дослідження:

- аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності системи експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів;
- дослідження існуючої системи забезпечення експортних перевезень зернових вантажів в Україні та показників експлуатації рухомого складу залізничного транспорту при перевезенні зерна;
- дослідження умов ефективної експлуатації рухомого складу залізниць при перевезенні зерна;
- удосконалення імітаційної моделі процесу перевезення зернових вантажів залізничним транспортом;

- формування експортно-орієнтованої мережі вузлових залізничних станцій для забезпечення навантаження зернових маршрутних поїздів;
- оцінка ефективності експлуатації рухомого складу залізниць при організації руху зернових маршрутних поїздів.

Об'єктом дослідження є процес експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти на експорт.

Предметом дослідження є взаємозв'язки між системою організації залізничних перевезень зерна у напрямку морських портів та показниками ефективності експлуатації рухомого складу.

Методи дослідження. Постановка завдань дослідження, вибір методів їх розв'язання та аналіз результатів виконані з використанням методів системного аналізу. Вирішення окремих задач дослідження виконане з використанням наступних методів: реляційна алгебра, RS-аналіз та математична статистика для дослідження параметрів вагонопотоків з зерновими вантажами; економіко-математичне моделювання та регресійний аналіз для визначення витрат на перевезення зерна залізничним та автомобільним транспортом; кластерний аналіз, теорія множин та методи багатокритеріальної оптимізації для визначення вузлових станцій та районів концентрації навантаження зерна для формування зернових маршрутних поїздів; імітаційне моделювання та теорія організації експлуатаційної роботи залізниць для дослідження ефективності маршрутизації перевезень з зерновими вантажами.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні актуального наукового завдання підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти на експорт за рахунок удосконалення системи експлуатації рухомого складу. Зокрема у дисертації отримано наступні наукові результати:

- вперше розроблено метод вибору вузлових станцій та районів концентрації навантаження зерна для формування відправницьких маршрутів, що базується на використанні апарату кластерного аналізу, теорії множин та

багатокритеріальної оптимізації і дозволяє врахувати як множину інфраструктурно-технологічних параметрів транспортної мережі, так і експлуатаційно-економічні критерії ефективності перевізного процесу;

– вперше отримано комплекс залежностей експлуатаційних витрат від відстані перевезень зернових вантажів, що дозволяє визначати ефективність використання залізничного транспорту залежно від форми власності та системи експлуатації рухомого складу;

– удосконалено імітаційну модель вантажних перевезень на залізничному напрямку за рахунок врахування можливості організації перевізного процесу відправницькими маршрутами з вузлових станцій навантаження, зокрема, за розкладом, що дозволяє досліджувати ефективність різних технологій залізничних перевезень зерна;

– отримали подальший розвиток методи оцінки ефективності експлуатації маршрутних поїздів, зокрема при використанні рухомого складу різних форм власності та організації руху вантажних поїздів за розкладом.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі, а також розроблені методи можуть бути використані для удосконалення та оцінки системи організації вагонопотоків при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти на експорт, планування розподілу вагонів-зерновозів під навантаження зерна та тягового рухомого складу під зернові поїзди. Результати роботи використані: для удосконалення технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти Одеського регіону; у навчальному процесі при підготовці магістрів у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за освітньою програмою 275.02 «Транспортні технології на залізничному транспорті»; під час виконання магістерських робіт та в курсах дисциплін «Іноваційні технології у вантажній та комерційній роботі» і «Експлуатаційна робота залізниць в умовах демонополізації галузі». Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до дисертації.

жнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014, 2015, 2018, 2019,), науково-практичній конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014), 77-й міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, УкрДУЗТ, 2015), міжнародній науково-практичній конференції «Природне агровиробництво в Україні: проблеми становлення, перспективи розвитку» (Дніпро, ДДАЕУ, 2015), 1-й, 2-й міжнародних науково-практичних конференціях «Енергооптимальні технології перевізного процесу» (Моршин, Львів, ДНУЗТ, 2016, 2017), 12-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті – ЕКУЗТ 2017» (Харків, 2017), I-й міжнародній науково-практичній конференції «Енергооптимальні технології, логістика та безпека на транспорті» (Львів, ДНУЗТ, 2018).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 29 наукових праць, з них 1 наукова стаття у закордонному виданні, що входить до наукометричної бази Scopus, 1 наукова стаття опублікована в іноземному фаховому виданні, 6 наукових статей у фахових виданнях, які входять до переліку Міністерства освіти і науки України та включені до міжнародних наукометричних баз, 3 статті в інших виданнях, та 18 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг роботи складає 198 сторінок, з яких основного тексту 133 сторінки, у основному тексті роботи міститься 42 рисунки та 26 таблиць; анотація, перелік умовних позначень, зміст – на 19 сторінках, список використаних джерел складається з 169 найменувань на 18 сторінках; 8 додатків на 28 сторінках.

РОЗДІЛ 1

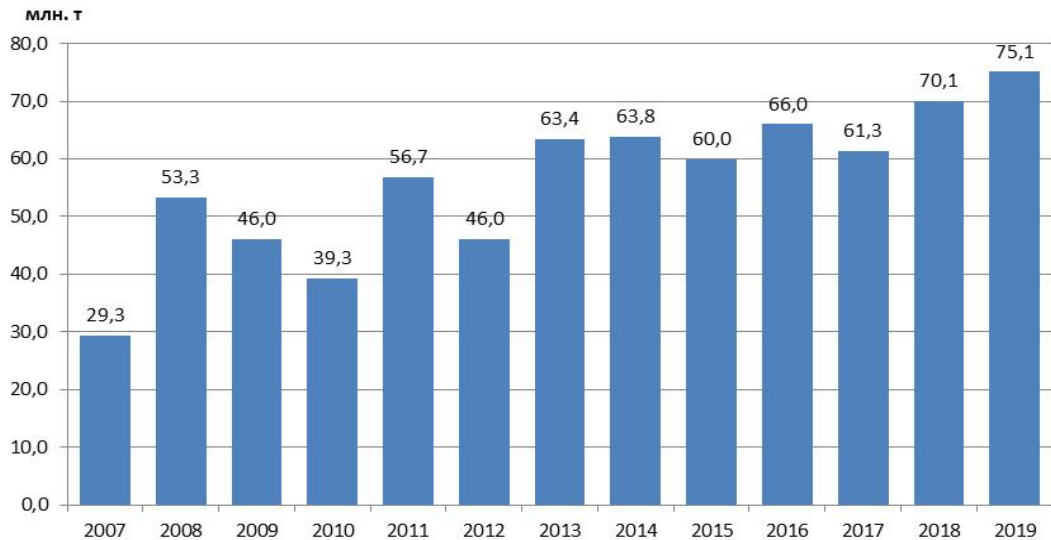
АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ В УКРАЇНІ

1.1 Перспективи виробництва та експорту зерна в Україні

Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки країни, який визначає обсяг пропозиції і вартість основних видів продовольства для населення країни, формує значну частину доходів сільськогосподарських виробників, визначає стан і тенденції розвитку сільських територій, формує валютні надходження країни за рахунок експорту. Зернова галузь розглядається як база і джерело сталого розвитку більшості галузей агропромислового комплексу та основа аграрного експорту [1].

Аналіз ринку дозволив виявити наступні тенденції розвитку аграрного сектору України за останнє десятиліття [2]: розвиток і домінування великих сільськогосподарських підприємств та холдингів у виробництві продукції рослинництва; ріст інтенсивності використання сільськогосподарських земель; використання нових технологій; розвиток приватної інфраструктури зберігання зерна сільськогосподарських виробників; вирівнювання сезонних коливань цін на зерно й масляні культури; чітка орієнтація на експортний ринок; поступова відмова від державного регулювання в зовнішній торгівлі.

Аналіз обсягів виробництва зернових в Україні показує, що в даний час спостерігається їх стійке зростання. Так, при світовому виробництві зернових у сезоні 2018/2019 р.р. 2,12 млрд. т. Україна займає 7-ю позицію після США (432 млн. т.), Китаю (397 млн. т.), ЄС (287 млн. т.), Індії (142 млн. т.), Російської федерації (107 млн. т.) і Аргентини (78 млн. т.) [3]. За останні 13 років виробництво зерна в Україні зросло в 2,6 рази – з 29,3 млн. т. в 2007 р. до рекордних 75,1 млн. т. в 2019 р., коли було зібрано 28,3 млн. т. пшениці, 35,8 млн. т. кукурудзи, 8,9 млн. т. ячменю, 0,7 млн. т. зернобобових, 0,3 млн. т. жита, 0,3 млн. т. вівса, 0,1 млн. т. гречки, 0,2 млн. т. проса, 0,56 млн. т. гороху. Динаміку зміни обсягів виробництва зерна наведено на рис. 1.1 [4].



Рисуюнок 1.1 – Динаміка обсягів виробництва зерна в Україні

Найбільшими виробниками зернових є Полтавська, Вінницька, Чернігівська, Черкаська, Сумська, Одеська, Київська, Хмельницька області, які забезпечують більше 50% усього виробництва [4]. При цьому, Черкаська, Сумська, Вінницька області демонструють і найбільшу врожайність зернових на рівні країн ЄС (близько 70 ц/га); середня ж врожайність зернових у 2018 р. склала 47,4 ц/га (пшениця – 30,6 ц/га, кукурудза – 62,1 ц/га), що однак, є найнижче середніх показників у країнах Європи (пшениця – 59,4 ц/га, кукурудза – 69,1 ц/га) [3]. Разом з тим, варто відзначити, що урожайність зернових в Україні демонструє тенденцію до зростання.

Відповідно прийнятій «Стратегії розвитку аграрного сектору економіки України на період до 2020 р.» [5] і «Єдиної комплексної стратегії та плану дій по розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на 2015-2020 роки» [1] обсяги виробництва зернових до 2020 р. передбачається збільшити на 30% – до рівня 80 млн. т. на рік. По оцінках же Української зернової асоціації щорічний обсяг виробництва зерна до 2020 р. може досягнути рівня 92 млн. т. [6]. Міжнародна незалежна організація макроекономічного аналізу та прогнозування IMF Group оцінює зростання виробництва зерна в Україні до 2022 р. на рівні 79,3 млн. т. (за умови зберігання українськими аграріями поточних темпів нарощування виробництва та існуючій врожайності зернових) та на рівні 100 млн. т. (за умови впровадження прогресивних технологій виробництва зерна та збільшення його врожайності) [7].

Враховуючи, що внутрішній щорічний попит становить близько 22...24 млн. т., зерно є одним з основних експортних товарів України [4, 7]. За останнє десятиліття обсяг експорту українського зерна виріс в 11,8 раз – з 3,7 млн. т. у 2007/2008 маркетинговому році (м. р.) до 49 млн. т. в 2018/2019 м. р. (рис. 1.2) [4]. По обсягах експорту зерна Україна стабільно посідає лідируючі позиції серед країн-експортерів, а в сезоні 2018/2019 поступилася лише США (92 млн. т.), покриваючи при цьому 13% від світових обсягів експорту (366 млн. т.) [3, 4].

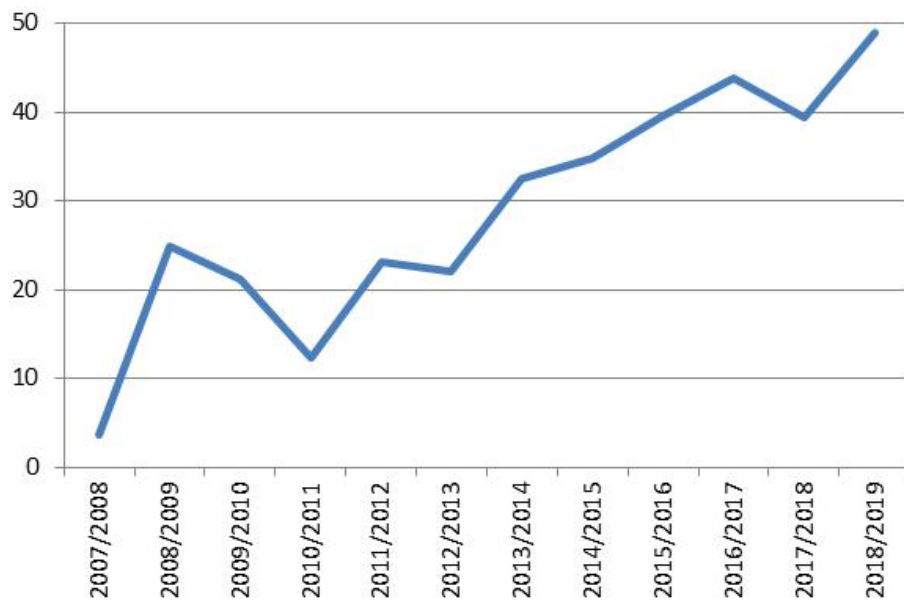


Рисунок 1.2 – Динаміка експорту зернових в Україні, млн. т.

Варто зазначити, що зерно є значним джерелом валютних надходжень в Україну. Так, частка зернових у загальному обсязі експорту за 10 років зросла з 3,5% (1,35 млрд. USD) у 2006 р. до 15,3% (7,2 млрд. USD) у 2018 р., поступаючи наразі тільки експорту чорних металів (21%). [4].

При цьому експорт аграрної продукції в цілому та зернових, зокрема, зернових планується щорічно збільшувати на 3...4% [1, 7, 8]. Згідно з прогнозом Української зернової асоціації передбачається експортувати не менш 60 млн. т. зерна в рік [6]. IMF Group прогнозує зростання обсягів експорту українського зерна до 2022 р. за песимістичним сценарієм до рівня 56 млн. т., а за оптимістичним – до рівня 79 млн. т. [7]. Основними споживачами українського зерна в останні роки стали Єгипет, Іспанія, Китай, Нідерланди, Індонезія та Саудівська Аравія [4].

1.2 Проблеми експорту українського зерна та напрямки їх подолання

Важливим фактором підвищення конкурентоспроможності вітчизняного зерна на світових ринках є ефективна система його доставки від виробників в морські порти, через які здійснюється більше 95% усього експорту зернових [4, 7, 9]. Разом з тим, слід зазначити, що система організації вантажних перевезень України в цілому і залізничних, зокрема, в даний час демонструє досить низьку ефективність. Узагальнюючим свідченням цього є низький індекс ефективності логістики (LPI), який за оцінкою Світового банку для України в 2018 р склав 2,83 (66 місце); для порівняння, для Польщі – 3,54 (28 місце), а для Німеччини, яка є лідером рейтингу, – 4,20 [10]. За оцінками експертів у зерновому секторі України витрати, пов'язані з транспортуванням, становлять 50...55 USD/т, що становить близько 35% від кінцевої вартості зерна, для порівняння, в США ці витрати становлять близько 15 USD/т (9%), а в країнах ЄС – 18... 25 USD/т (12...16%) [9, 11]. Експерти міжнародної аналітичної транспортної компанії GEFCO оцінюють втрати українських виробників зерна через неефективну систему організації його перевезення на рівні 20 USD на кожній тонні (10... 15%), що за оцінками Світового банку призводить до недоотримання аграріями від 0,6 до 1,6 млрд. USD в рік [12].

При транспортуванні залізницею перевезення однієї тонни зерна в середньому обійдеться фермеру в 44 USD: 4 USD (9,1 %) – вивіз зерна автотранспортом з поля на елеватор, 3 USD (6,8%) – проміжне зберігання зерна, 15 USD (34,1%) – послуги елеваторів зі зберігання зерна, 10 USD (22,7%) – вартість доставки залізницею до порту, 12 USD (27,3%) – вартість навантаження зерна на судно. У разі доставки тонни зерна автомобільним транспортом, вартість перевезення зросте з 10 USD до 41,3 USD [7].

Зниження витрат у системі транспортування зерна на експорт дозволить збільшити його додану вартість та, відповідно, прибутковість аграрних підприємств України і конкурентоспроможність українського зерна на зовнішніх ринках. При цьому варто зазначити, що в останні роки проблеми транспортування

зерна, зокрема на експорт, та зниження відповідних витрат є об'єктом дослідження багатьох як вітчизняних, так і закордонних науковців та практиків.

Питанням дослідження та підвищення ефективності транспортної складової у сфері виробництва, зберігання та експорту зерна присвячені наукові праці В. А. Колодійчука [9, 13]. Автор детально аналізує потенціал України та існуючі проблеми як у сфері виробництва зернових культур, так і у сфері його доставки до споживачів, зокрема, на експорт [9]. У роботі, між іншим, акцентується увага на проблемах залізничних перевезень українського зерна, зокрема, через низький рівень маршрутизації перевезень, що спричинює неефективну експлуатацію транспортних засобів. Для вирішення проблем транспортного забезпечення експорту зерна автором розроблено концепцію (модель) ефективного розвитку, яка базується на широкій інформатизації та часово-просторовій синхронізації потоків зерна, а також на моніторингу міжрегіональних балансів зерна [13]. Модель охоплює процес доставки зерна від поля до портового елеватора, а її використання сприятиме оптимізації транспортних потоків зерна і зменшенню відповідних витрат. При цьому основний акцент у роботі зроблено на аналіз та покращення економічних та інформаційних зв'язків між учасниками зернової агрологістичної системи, в той час як питання удосконалення технічних та технологічних аспектів у сфері доставки зерна не розглянуті у достатній мірі.

В [14] наведено критичний аналіз сучасного стану інфраструктури, що забезпечує експорт українського зерна: елеваторів, транспортної системи, портів; при цьому автор вбачає основні проблеми експорту українського зерна саме в системі транспортування, зокрема у дефіциті, зношеності рухомого складу залізниць та неефективному його використанні. У [15] автор зазначає про існуючі суттєві проблеми в організації доставки українського зерна через морські порти, зокрема через недостатню пропускну здатність підходів до портів. В [16] запропоновані пріоритетні напрямки розвитку інфраструктури для забезпечення експорту зернових, серед яких кооперація аграрників та створення координуючих логістичних центрів; модернізація і сертифікація функціонуючих та

нарощування елеваторних потужностей в місцях дислокації виробників зерна; створення інформаційної мережі ринку зерна.

У [17] розглянуто систему транспортування українського зерна на експорт від стадії його виробництва до перевантаження на судна; при цьому автор звертає особливу увагу на існуючі інфраструктурні проблеми цієї системи, в першу чергу, пов'язані зі зберіганням зерна та його перевалкою з одного виду транспорту на інший, а в роботі [18] впровадження сучасних принципів транспортного сервісу розглядається як один з найбільш перспективних напрямків підвищення ефективності транспортно-логістичного комплексу в агросекторі України.

В Російській Федерації, що є одним з найбільших у світі як виробників зерна (у 2017 р. зібрано рекордні 135 млн. т.), так і його експортерів (у 2017/2018 м. р. експортовано майже 50 млн. т, для порівняння у 2016/2017 м. р. – 36 млн. т.), існують аналогічні проблеми з організацією експорту зерна. Разом з тим існують і певні відмінності. Так, близько 15% експорту російського зерна прямує сухопутними переходами. Для російських залізниць, на відміну від українських, зерно не відноситься до найбільш масових вантажів: у 2019 р. при загальних обсягах перевезення зерна 22 млн. т., його частка складала лише 1,7% в загальному обсязі вантажних перевезень РЖД (в Україні – відповідно 39,8 млн. т. та 15%) [4, 19-21]. Для залучення відправників зерна РЖД у 2017 р. запровадили знижку 10,3% на залізничні перевезення зернових з віддалених від портів регіонів [20]. Однак, через відсутність гнучкого регулювання тарифів на РЖД, яке пропонують автоперевізники, відправники зерна поки що не поспішають переходити на залізницю – наразі частка залізниць в загальному обсязі перевезення зернового експорту Росії складає лише близько 25% (у 2017/2018 м. р. – 12,5 млн. т), а основним перевізником залишається автомобільний транспорт [19, 20].

Грунтовне дослідження проблем розвитку транспортної системи експортних перевезень зерна у Росії виконане у роботі [22]. Однією з проблем експорту зерна у РФ, як і в Україні, є суттєва розпорошеність залізничних станцій його навантаження, яких налічується більше 700. Автор обґрунтовує необхідність

створення мережі вузлових елеваторів, здатних відвантажувати на залізницю зернові маршрутні поїзди. Доставка зерна від польових елеваторів до лінійних здійснюється автотранспортом, а від лінійних до вузлових – повагонними відправками. З цією метою пропонується класифікація пунктів відвантаження зерна за певними характеристиками, однак при цьому сама процедура класифікації елеваторів та формування навколо них маршрутно-орієнтованих кластерів здійснюється «вручну», що не виключає певної суб'єктивності отриманих результатів. Окрім того, автором розроблено математичну модель, що дозволяє оцінювати ефективність концентрації навантаження та маршрутизації перевезення зерна. Однак, вказана модель не враховує ряду статей витрат, зокрема капітальних витрат на розвиток вузлових елеваторів, а також не дозволяє оцінювати різні технології організації перевезень, зокрема перевезення за розкладом, перевезення у власних чи інвентарних вагонах тощо.

Проблеми експорту російського зерна та можливі шляхи їх вирішення розглянуті у роботі [23]. Аналіз цієї роботи показує, що ці проблеми в Україні та Російській Федерації мають багато спільних рис, серед яких значна територіальна розпорошеність місць навантаження зерна, низький рівень оснащення елеваторних потужностей, в першу чергу, польових та лінійних, зношеність залізничного рухомого складу та автомобільних доріг, неефективна технологія доставки зерна від виробників до морських портів. Так, вартість перевалки зерна у російських портах у 2...3 рази вище, ніж у Європі і у 1,5 рази вище, ніж в Україні; собівартість залізничних перевезень зерна у Росії на 40% вище, ніж у США, а обсяги залізничних перевезень зерна маршрутами не перевищують 2%; при цьому залізниці здійснюють близько 50% перевезень зернових вантажів. Існують також проблеми з зерносховищами. Для вирішення вказаних проблем автор розробив та обґрунтував концепцію послідовного збалансованого розвитку системи транспортного забезпечення експорту зерна на основі чіткої координації усіх учасників ланцюга доставки зерна та впровадження механізмів їх економічного стимулювання на рівні держави щодо інвестування як у інфраструктуру та і у удосконалення технології перевезень.

Система експорту зерна включає його зберігання, транспортування та перевалку у портах і потребує стабільної та ефективної роботи всіх ланок відповідного ланцюга від виробників до пунктів перевалки (морських портів). Інфраструктура, що забезпечує експорт зерна, включає три основні елементи: систему зберігання, портові потужності й транспортну систему.

Система зберігання зерна в Україні представлена зерновими складами сільгоспвиробників, лінійними та перевалочними заготівельними й комерційними елеваторами, термінальними ємностями, а також елеваторами переробних підприємств. Наразі в Україні налічується близько 1200 зерноскладових різного типу та потужності зберігання. Загальна потужність одночасного зберігання зерноскладових оцінюється на рівні 45...48 млн. т. [24, 25].

Як зазначалось, більше 95% українського зерна прямує на експорт через морські порти. Так, у 2019 р. через українські порти перевантажено 53,8 (+34% у порівнянні з 2018 р.) млн. т. зернових вантажів, що складає 33% від загального обсягу перевалки вантажів портами України (160 млн. т.) [4, 26]. Перевалку зерна в морських портах здійснюють близько 30 терміналів; за оцінками експертів у 2019 р. наявна потужність українських портових терміналів з перевалки зерна сягнула 85млн. т. на рік [7, 27].

Основним перевізником зерна від лінійних елеваторів у порти є залізничний транспорт, що забезпечує 70% від обсягів експортних перевезень зернових; автомобільним транспортом перевозиться близько 28%, а річковим близько 2% [7].

Серед основних проблем залізничних перевезень зерна – дефіцит та суттєва зношеність вагонного парку, значна тривалість обігу вагонів-зерновозів і відповідно – низька ефективність їх використання, дефіцит тягового рухомого складу, недостатня пропускна здатність припортових станцій та підходів до них, розпорошеність станцій навантаження зерна тощо. Разом з тим, більше 90% вантажообігу залізничний транспорт здійснює електричною тягою, використовуючи вітчизняні енергоносії, в той час як його головний конкурент на ринку вантажних перевезень – автомобільний транспорт – використовує 72% усіх споживаних в Україні нафтопродуктів, 80% з яких Україна імпортує. Варто відзначити також і більшу екологічність залізничних перевезень, особливо при використанні електричної тяги. Окрім того, утримання залізничної інфраструктури здійснюється за

рахунок тарифів на перевезення, а автошляхи, натомість, утримуються за рахунок державних та місцевих бюджетів. При цьому рух перевантажених автозерновозів є однією з основних причин руйнування автомобільних доріг у південних областях України на підходах до морських портів. В зв'язку з цим підвищення ефективності експлуатації рухомого складу саме залізничного транспорту у системі експорту зерна є важливим та актуальним завданням, вирішення якого дозволить скоротити як власне транспортну складову у вартості українського зерна, так і зменшити витрати імпортованих нафтопродуктів, знизити шкідливі викиди в атмосферу, зберегти автодорожню інфраструктуру тощо.

1.3 Ефективність маршрутизації перевезення масових вантажів

Рівень транспортних витрат під час залізничних перевезень українського зерна у морські порти на експорт безпосередньо пов'язаний з ефективністю системи експлуатації рухомого складу, що використовуються для перевезення зернових вантажів. Характерною рисою залізничних перевезень зерна в Україні є значна розпорошеність його навантаження на станціях; причому на значній частині станцій середньодобове навантаження становить менше 1 вагона. Наслідком цього є те, що зерно – єдиний масовий вантаж, значна частина якого перевозиться повагонними відправками. При цьому подача вагонів під завантаження і прибирання вагонів з зерном з цих станцій здійснюється збірними або вивізними поїздами, а на шляху прямування до станції вивантаження (порт) вагон з зерном може декілька разів перероблятися на технічних станціях. Така організація призводить до суттєвого збільшення обігу вагонів-зерновозів і, відповідно, до зростання як термінів доставки, так і пов'язаних витрат.

Одним з найбільш ефективних напрямків удосконалення залізничних перевезень вантажів та підвищення ефективності експлуатації рухомого складу є маршрутизація з місць навантаження. Як відомо, маршрутизацією перевезень називається організація перевезень вантажів у маршрутних поїздах, що проходять декілька технічних (дільничних, сортувальних) станцій без переробки. За умовами організації маршрути з місць навантаження розділяють на [28, 29]:

– відправницькі маршрути, що повністю формуються на залізничних коліях незагального користування (далі – під'їзних коліях) відправником вантажу (або власником під'їзної колії) або на коліях загального користування (далі – магістральних) залізничної станції за договором між відправником вантажу та перевізником (залізницею). Відправницький маршрут може включати вагони, оформлені одним маршрутним відправленням або декількома груповими або повагонними відправленнями;

– ступінчаті маршрути, що формуються з вагонів, представлених різними відправниками вантажу на місцях загального та незагального користування, які примикають до однієї залізничної станції (станційний ступінчатий маршрут), одним відправником вантажу (власником під'їзної колії) або різними відправниками вантажу (власниками під'їзних колій) на декількох залізничних станціях ділянки або залізничного вузла (дільничний або вузловий ступінчатий маршрут).

Окремо варто також виділити кільцеві маршрути з постійними складами вагонів, які після вивантаження повертаються у порожньому стані на ту ж станцію (ділянку, вузол) під повторне навантаження.

В даний час середній рівень маршрутизації в Україні становить близько 40...45%. Для порівняння, у Російській федерації – загальний рівень маршрутизації – становить 45...50%, у країнах Європейського Союзу – 50...55%, у США – 60% і більше [30]. Разом з тим для зернових вантажів середній рівень маршрутизації в Україні не перевищує 25...30% (у 2012 р. – тільки 8...10%), у той час як в США майже 95% зернових вантажів перевозиться відправницькими маршрутами [31, 32]. Слід зазначити, що з 2017 р. Укрзалізниця здійснює активну політику щодо підвищення рівня маршрутизації при транспортуванні зерна: так, наприклад, при розподілі порожніх вагонів-зерновозів інвентарного парку, в першу чергу, виконуються замовлення саме на маршрутні відправки. При цьому, якщо середній обіг вагона-зерновоза складає 8...12 діб (в залежності від типу власності), то для вагонів, що рухаються у складі маршрутних поїздів цей показник може бути зменшений до 6...7 діб [31].

Для підвищення експлуатаційних показників рухомого складу, зокрема, при перевезенні зернових вантажів, Укрзалізниця широко використовує технічну маршрутизацію. При реалізації такої технології залізниця формує на одній з сортувальних станцій, що обслуговують морський порт, маршрут порожніх вагонів-зерновозів і доставляє його на технічну станцію, розташовану в районі навантаження. Порожні вагони у складі збірних, дільничних або вивізних поїздів доставляються на сусідні станції навантаження. Після навантаження вагони збираються тими ж поїздами на технічну (сортувальну) станцію в наскрізний поїзд, який прямує для вивантаження в порт без переробки на шляху прямування. Недоліками є необхідність утримання мережі невеликих елеваторів, складність організації контролю якості зерна на них, необхідність використання маневрових тепловозів для обслуговування проміжних станцій, а також значні простой вагонів на технічних станціях під накопиченням, тобто в очікуванні концентрації повноцінного маршруту [31].

Необхідно також враховувати, що важливою відмінністю умов перевезення зернових в Україні від умов перевезення цих вантажів у США та Російській Федерації є значно менша середня відстань доставки зерна в порти (близько 600 км [7]). Це пов'язано з тим, що значні обсяги виробництва зерна сконцентровані в південних регіонах у безпосередній близькості до морських портів. Цей факт загострює умови конкурентної боротьби між залізничним та автомобільним транспортом, оскільки для частини відправників більш економічно доцільним будуть прямі перевезення зерна в порти автотранспортом.

Важливим фактором, що впливає на показники експлуатації вагонів-зерновозів, є різні умови оперування вагонами різних форм власності. Так, вартість оренди вагонів парку УЗ (навіть після підвищення тарифів у 2018 р. та 2019 р.) в середньому на 15...20% нижче, ніж у приватних власників, тому користується більшим попитом серед вантажовідправників; при цьому обіг вагонів УЗ на 25...30% менший. Разом з тим, парк вагонів УЗ значно «старіший» за приватні вагони та характеризується великим рівнем зношеності [33].

До ключових проблем залізничних вантажних перевезень в цілому та зер-

нових вантажів, зокрема, необхідно віднести критичну ситуацію, що склалась в останні роки з забезпеченням перевезень тяговими ресурсами. Зношеність парку вантажних електровозів наразі складає 92%, а тепловозів – 99% [33], робочий парк локомотивів стабільно зменшується, а темпи оновлення є вкрай низькі [34]. Проблема відсутності справних вантажних локомотивів все частіше спричинює суттєві затримку у відправленні сформованих поїздів, що, з однієї сторони, погіршує експлуатаційні показники використання рухомого складу, з іншої – збільшує строки доставки вантажів та відповідні транспортні витрати.

В цих умовах доцільним є роздільна експлуатація вагонів різних форм власності, одним з найбільш ефективних напрямків якої є кільцева маршрутизація. Як зазначається в [31], якщо зерновий маршрут складається з нових та технічно справних вагонів, то за добу він може подолати відстань у 700 км, що дасть змогу скоротити обіг вагона на 2...3 доби. Однак, впровадження відправницької, зокрема, кільцевої маршрутизації призводить до збільшення витрат, пов'язаних з виконанням початкових та кінцевих операцій. Тому доцільність такої технології має бути визначена шляхом техніко-економічних розрахунків.

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

В даний час доцільність впровадження відправницької маршрутизації визначається відповідно до «Інструктивних вказівок по організації вагонопотоків на залізницях України» [35]. Відповідно до [35] для включення в план маршрутизації окремої кореспонденції вантажів повинна виконуватися умова, за якою додаткові витрати на організацію маршрутів ΔE_M у порівнянні з немаршрутними (повагонними) відправленнями на станції навантаження й вивантаження ΔE_B , не повинні перевищувати економії на шляху руху $\Delta E_{ек}^{рух}$:

$$\Delta E_M + \Delta E_B \leq \Delta E_{ек}^{пyx} \quad (1.1)$$

Сумарна економія на шляху прямування визначається по формулі:

$$\Delta E_{ек}^{пyx} = \left(\sum t_{ек} + t_{ек}^{дн} + t_{ек}^{дв} \right) \cdot Ne_{нн} + Ne_{нн}^{cp} \sum r, \quad (1.2)$$

де $\sum t_{ек}$ – сумарна економія приведених вагоно-годин при проходженні маршруту через залізничні станції без переробки вагонів, год;

$t_{ек}^{дн}, t_{ек}^{дв}$ – відповідно, економія часу на ділянці навантаження й вивантаження проміжних станцій, год;

N – вагонопотік, який маршрутизується, ваг;

$e_{нн}$ – витратна ставка за одну вагоно-годину для вагона, який включається в маршрут з урахуванням виду вантажу, грн/ваг-год;

$e_{нн}^{cp}$ – середня мережна витратна ставка за одну вагоно-годину, грн/ваг-год;

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

Додаткові витрати, на станціях навантаження й вивантаження маршруту визначаються по формулі:

$$\Delta E_M = \Delta t_H Ne_{нн}^{cp} \quad \text{та} \quad \Delta E_B = \Delta t_B Ne_{нн}^{cp}, \quad (1.3)$$

де $\Delta t_H, \Delta t_B$ – відповідно, додаткові простой на станціях навантаження та вивантаження, у порівнянні з повагонною організацією вагонопотоків, ваг-год.

В основі методики, наведеної в [35] лежить методика, яка була розроблена ще в часи СРСР для умов функціонування планової економіки та експлуатації єдиного інвентарного парку вантажних вагонів [36]. Враховуючи, що інфраструктура залізничного транспорту та рухомий склад у той час перебував в одній державній власності, то ефективність маршрутизації фактично ґрунтувалася на мінімізації власних витрат залізничного транспорту при організації перевезень. З переходом України до ринкової економіки, умови роботи залізни-

чного транспорту і технологія його взаємодії із вантажовласниками суттєво змінилися. Сучасні умови організації роботи залізничного транспорту характеризуються демонополізацією ринку перевезень, що призвело до появи як приватних вагонів незалежних операторів, так і різних (за формою власності) відправників та отримувачів вантажу. Через зміну структури ринку залізничних перевезень змінились і умови визначення ефективності маршрутизації, яку необхідно наразі оцінювати з позицій не тільки перевізника-монополіста, але й вантажовідправника, та вантажоодержувача.

Значний науковий та практичний інтерес з точки зору оцінки та аналізу ефективності відправницької маршрутизації залізничних перевезень представляють праці проф. Д.М. Козаченка [30, 37, 38], в яких наголошується, що оцінка доцільності впровадження відправницьких маршрутів повинна враховувати економічні інтереси усіх учасників перевізного процесу – Укрзалізниці, як основного перевізника, відправника та отримувача вантажу. У загальному випадку згідно з [35] економія, яка досягається в результаті маршрутизації вагонопотоків, може бути визначена за виразом:

$$E_{ек} = E_{пер} - E_{мар} - E_{д}, \quad (1.5)$$

де $E_{пер}$, $E_{мар}$ – відповідно, витрати, що пов'язані з пропуском немаршрутизованого та маршрутизованого вагонопотоків;

$E_{д}$ – витрати, пов'язані з додатковим простоем вагонів, що виникає при зменшенні потужності струменя після виділення маршрутизованого вагонопотоку.

В [30, 37] зазначається, що в умовах різної власності на вагони величина $E_{д}$ для окремого власника не має економічного змісту. Це призводить до зменшення добового розміру вагонопотоку, при якому маршрутизація є ефективною. Відмічено, що наразі відправницькою маршрутизацією охоплюються в основному завантажені вагонопотоки, а порожні вагони повертаються на станції навантаження, як правило, повагонними відправками, що збільшує обіг вагонів та пов'язані з цим витрати. Так, рівень маршрутизації порожніх вагонопотоків з місць вивантаження складає наразі лише 9,2%. Автором наводяться результати експерименту по

маршрутизації порожнього вагонопотоку у ланцюзі доставки залізорудної сировини з ПАТ „Полтавський ГЗК” в транспортний вузол ТОВ „Трансінвестсервіс” („ТІС”). При цьому за рахунок скорочення обігу вагона на маршруті загальна економія в залежності від обсягів перевезення досягає рівня 0,5...1 млн. USD/рік.

У [38] для стимулювання відправників до маршрутизації пропонується запровадження системи знижок (як це діє у США, країнах Європи та у Росії); при цьому величину знижки автор розраховує за виразом:

$$C = E_{\text{нав}} + E_{\text{сл}}(m, L) + E_{\text{вив}}, \quad (1.6)$$

де $E_{\text{нав}}$ – економія, що виникає на станції навантаження, якщо формування відправницького маршруту здійснюється на колії незагального користування;

$E_{\text{сл}}$ – економія, що виникає на шляху прямування через виключення переробки вагонів;

$E_{\text{вив}}$ – економія, що виникає на станції вивантаження, якщо воно здійснюється на колії незагального користування;

m – маса вантажу у маршруті;

L – відстань перевезення.

Разом з тим, для формування маршруту на під’їзних коліях підприємств можуть бути необхідні певні інвестиції у розвиток інфраструктури, а також можуть виникати додаткові експлуатаційні витрати, пов’язані з накопиченням маршрутного поїзда. Тому тарифна політика Укрзалізниці, як перевізника-монополіста, має враховувати витрати відправників та отримувачів, що забезпечують економію для перевізника (Укрзалізниці).

Оцінку ефективності маршрутизації перевезень А. І. Верлан пропонує здійснювати за виразом [39]:

$$\begin{cases} E_{\text{вв}} = \Delta n e_{\text{нН}} - E_{\text{вв}}^{\text{доД}} \pm K_{\text{вв}} \geq 0 \\ E_{\text{зал}} = N e_{\text{нН}}^{\text{сеп}} \sum r + E_{\text{п}} + E_{\text{к}} + E_{\text{дн}} + E_{\text{дв}} \pm K_{\text{зал}} \geq 0 \\ E_{\text{во}} = -E_{\text{во}}^{\text{доД}} \pm K_{\text{во}} \geq 0 \end{cases} \quad (1.7)$$

де $E_{\text{вв}}, E_{\text{зал}}, E_{\text{во}}$ – відповідно економія витрат вантажовідправника, залізниці та вантажоотримувача;

Δl – скорочення експлуатаційного парку вантажних вагонів, що задіяні для перевезень, порівняно з відправленням немаршрутизованого вагонопотоку;

$E_{\text{вв}}^{\text{дод}}, E_{\text{во}}^{\text{дод}}$ – додаткові приведені витрати відповідно вантажовідправників та вантажоотримувачів, що пов'язані з виконанням на їх під'їзних коліях початкових та кінцевих операцій з формування та погашення поїздопотоків;

$E_{\text{п}}, E_{\text{к}}$ – відповідно скорочення експлуатаційних витрат станцій примикання до під'їзних колій у зв'язку з перенесенням виконання початкових та кінцевих операцій на колії незагального користування, а також через виключення операцій подачі–прибирання вагонів маневровими локомотивами;

$E_{\text{дн}}, E_{\text{дв}}$ – відповідно скорочення експлуатаційних витрат залізниць у зв'язку з відсутністю перевезень вагонів на ділянках, що примикають до станцій навантаження та вивантаження, в збірних, вивізних, передаточних поїздах;

$K_{\text{вв}}, K_{\text{зал}}, K_{\text{во}}$ – компенсації учасника/учаснику перевізного процесу додаткових витрат, пов'язаних з маршрутизацією перевезень.

Разом з тим, організація завантажених маршрутів з місць навантаження і порожніх маршрутів з місць вивантаження потребує капітальних інвестицій у розвиток відповідної інфраструктури, зокрема, колійної, у кінцевих пунктах [39]. Автором також виконано розрахунки щодо визначення економії різних учасників перевізного процесу (залізниці, вантажовласників, під'їзних колій) при впровадженні відправницької маршрутизації [40]. Однак, слід відзначити, що у наведених роботах заходи з маршрутизації перевезень та методи оцінки їх ефективності застосовні, в першу чергу, для великих відправників масових вантажів (наприклад, для гірничодобувних підприємств). Навантаження ж зерна в Україні відбувається на великій кількості залізничних станцій, більшість з яких відправляють у середньому не більше 1 вагона на добу; тому запропоновані заходи з маршрутизації у цьому випадку потребують певного доопрацювання.

Про необхідність застосування нових підходів до оцінки ефективності відправницької маршрутизації зазначається у роботі [41], що спрямована на пошук компромісних рішень для задоволення інтересів залізниці та вантажовідправників при формуванні маршрутів. Зокрема, автор пропонує компенсувати витрати залізниці за рахунок додаткового доходу від формування маршрутних відправок на коліях загального користування. Однак, розмір цієї компенсації не повинен перевищувати такого рівня, при якому формування відправницького маршруту є економічно привабливим для відправника.

При цьому слід зазначити, що на відміну від цілого ряду країн (США, ЄС, Росія) в Україні до останнього часу були відсутні економічні механізми (система знижок) стимулювання вантажовласників до формування відправницьких маршрутів. Так, відповідно до положень «Збірника тарифів» [42] при перевезенні вантажів маршрутами або групами вагонів плата за перевезення визначається так само, як і за повагонну відправку. Тільки у 2018 р. Укрзалізниця декларувала запровадження 10% знижки для відправників при формуванні відправницьких маршрутів [43], однак наразі цей намір не реалізований.

В [44] до основних проблем при перевезенні масових вантажів, зокрема, зерна, автор відносить економічну недосконалість маршрутних відправок та неефективне використання порожніх вагонопотоків. Для подолання цих проблем необхідно ширше впроваджувати відправницьку маршрутизацію, в т.ч. кільцеві маршрути. Однак при цьому, як зазначається у роботі, погіршуються показники використання вагонів (збільшується порожній пробіг). Разом з тим, частка приватного парку вагонів (незалежних операторів) в Україні становить наразі близько 46% (90 тис. вагонів) [45], а кільцеві маршрути, як правило, формуються з приватних вагонів; при цьому порожні приватні вагони обслуговуються залізницею аналогічно завантаженим (з оформленням перевізних документів та нарахуванні провізної плати). До того ж в Україні майже відсутня нормативна база, що регламентує планування та організацію відправницької маршрутизації – наразі вона фактично обмежується лише Розділом 17 «Правил перевезень вантажів залізничним транспортом України» [29], що містить лише загальні положення.

На недосконалості існуючої технології залізничних перевезень зернових вантажів в Україні акцентується увага в [46]. Це призводить до неефективного використання існуючого парку вагонів-зерновозів та до їх дефіциту у пікові періоди навантаження, і як наслідок – до затримок поставок та втрати залізницею потенційних вантажовідправників. Автори зазначають, що для подолання вказаних проблем необхідні нові підходи до організації залізничних перевезень зерна, оцінка ефективності яких повинна здійснюватись з використання сучасного математичного апарату. Так, у роботі [47] для оцінки ефективності різних варіантів доставки сировини для металургійних підприємств Маріуполя, зокрема, у залізнично-водному сполученні, пропонується використовувати методи нечіткої логіки. Авторами розроблена модель багатокритеріального прийняття рішення щодо оцінки технології перевезення на основі нечітких критеріїв: «транспортні витрати», «терміни доставки», «ризики перевезення». Результуючою ж оцінкою кожного варіанту (лінгвістичною змінною) є «логістичні витрати», що характеризується рівнями «погано», «задовільно», «добре» та визначаються на основі аналізу функцій Гауса по нечітким критеріям з використанням методу Мамдані. Такий підхід дозволяє певною мірою врахувати реальні умови перевезень часто характеризуються неповнотою та ненадійністю інформації.

Враховуючи значну кількість вагонів приватних компаній, що складають значну частку від загального парку, а також перспективи використання приватних локомотивів на магістральних залізничних шляхах, у роботі [48] автором запропоновано удосконалений варіативний підхід до оцінки економічної ефективності маршрутизації перевезень в залежності від форми власності вагонів та локомотивів. З цією метою автор пропонує цілий ряд розрахункових виразів, кожен з яких відповідає конкретним умовам маршрутизації. В роботі [49] оцінку ефективності відправницької маршрутизації пропонується здійснювати у відносно-оперативному режимі з врахуванням цілої низки експлуатаційних показників, серед яких завантаженість станцій та залізничних ділянок, наявність локомотивів і бригад, витрат на накопичення та формування маршрутів, можливості обробки маршрутів на станціях тощо. А у дослідженні [50] запро-

поновано критерії по встановленню диференційованих залізничних вантажних тарифів з урахуванням особливостей окремих поїздо-дільниць, показників використання рухомого складу та системи організації вагонопотоків. З цією метою розроблена математична модель функціонування системи перевезення масових вантажів маршрутами. Модель дозволяє оптимізувати параметри вантажопотоків, а критерієм оптимальності є сукупні витрати, що припадають на одиницю вантажу. Разом з тим, у запропонованій моделі не врахована диференціація рухомого складу за типом власності, а також особливості відправницької маршрутизації зернових вантажів.

Варто зазначити, що однією з ключових цілей «Стратегії розвитку ПАТ «Укрзалізниця» на період 2017-2021 роки» є, зокрема, підвищення частки залізничного транспорту на ринку вантажних перевезень до 65% (наразі – 58%), а також покращення обігу вагона на 20% та 15% швидкості доставки вантажів на 15%. При цьому одним з напрямків досягнення зазначених показників є підвищення рівня маршрутизації вантажних перевезень [33].

1.4. Аналіз перспективного досвіду організації залізничних перевезень зернових вантажів

Для підвищення ефективності перевезень зернових вантажів, насамперед, на експорт, та зниження рівня відповідних витрат залізничні компанії країн, що є найбільшими виробниками та експортерами зерна (США, Канада, Європейський Союз, Росія тощо), впроваджують різноманітні технології організації перевізного процесу, в першу чергу, на основі відправницької маршрутизації. При цьому економічною основою, що забезпечує привабливість відправницької маршрутизації для клієнтів є, насамперед, гнучка тарифна політика залізниць.

Для стимулювання вантажовласників до організації відправницьких маршрутів в Російській Федерації в 1995 році була введена знижка 10% до тарифу на перевезення вантажів. В даний час в Прейскуранті 10-01 [51] передбачені понижуючі коефіцієнти до вантажного тарифу, диференційовані залежно від відстані перевезень та типу маршруту. Окрім того, у 2010 р. розроблена та уведена у дію «Інструкція з планування, організації та обліку перевезень вантажів

відправницькими та ступінчатими маршрутами» [52], в якій регламентований порядок та правила організації відправницької маршрутизації на залізницях РФ.

Однією з проблем зернового експорту у Російській Федерації (як і в Україні) є дефіцит перевантажувальних потужностей на припортових станціях. Можливі напрямки вирішення цієї проблеми розглядаються в роботі [53] на прикладі Північно-Кавказької залізниці та портів Новоросійськ і Туапсе. Автором пропонується оптимізаційний алгоритм розробки графіку підводу вантажів, зокрема зернових, до портів з врахуванням цілого ряду факторів, таких як перевалочна потужність на припортових станціях, завантаженість підходів до припортових станцій, моменти підходу суден, тривалості технологічних операцій з вагонами на припортовій станції, тривалість руху поїздів до портів, пріоритетність вантажних відправок тощо. Програмний комплекс, що створений на основі розробленого алгоритму, дозволяє планувати та оцінювати доцільність формування як відправницьких, так і ступінчатих маршрутів для доставки зерна від відправників до портів. Разом з тим, автори не розглядають напрямки вирішення проблеми концентрації навантаження зерна на лінійних вантажних станціях, що є необхідною умовою для формування відправницьких маршрутів.

Яскравим прикладом використання гнучкої тарифної політики також є Франція – тут почали застосовувати методику стимулювання відправників до маршрутизації ще в 80-х роках. У той час знижка становила від 6% – при відправленні 460 т і більш, за умови перевезення 3000 т і більш знижка становила – 34% [54]. На сьогодні SNCF встановлює контрактні тарифи з урахуванням цього фактора й кон'юнктури на транспортному ринку.

Істотний прогрес у зниженні витрат на транспортування зерна був досягнутий у США й Канаді наприкінці 20-го – початку 21 століття; в цих країнах завдяки цілому ряду заходів в галузі залізничних перевезень та змін в законодавстві вдалося знизити частку транспортної складової у вартості зерна до 10% [11].

До процесу реформування система перевезення зерна північноамериканськими залізницями передбачала переважно повагонні відправлення [55]. Зміни у технології перевезення зерна в США почалися в 1972...1973 роках у відповідь на різке збільшення попиту на зерно на світовому ринку. Щоб витримувати конку-

ренцію з боку автомобільного та річкового транспорту, залізничні компанії почали стимулювати вантажовідправників до збільшення кількості вагонів у партіях за рахунок диференціації тарифів для вагонних, групових та маршрутних відправок. При цьому вантажовідправники стали істотно збільшувати навантажувальні потужності елеваторів до 100 вагонів на добу; це призвело до зміни кількості, ємності й розміщення елеваторів по території країни, удосконалення технологій перевезення зерна залізницями та їх тарифних систем [56, 57].

Кінець 1970-х – початок 1980-х років став періодом економічного дерегулювання залізничного транспорту. Конгресом США був прийнятий ряд документів, найважливішими з яких були: «Закон про відродження залізниць та реформу регулювання» (1976 р.) [58] та «Акт Стаггера про залізничний транспорт» (1980 р.) [59]. Зазначені закони значно спростили залізницям процедуру закриття малодіяльних ділянок, а також дали значну свободу у формуванні тарифної політики. У результаті були закриті малодіяльні ділянки, що складали близько 20% мережі, додатково значну кількість малодіяльних ділянок було перетворено на залізниці, незалежні від залізниць 1-го класу [60].

Тарифна політика залізниць також зазнала істотних змін. Залізниці перейшли від тарифікації перевезень пропорційно маси вантажу до тарифікації в залежності від типу відправки – вагонна відправка (single-car rate), групова (multiple-car rates), відправницький маршрут (unit train), ступінчатий маршрут (multiple origin unit train rates), – стимулюючи відправників вантажу, з одного боку, до максимального завантаження вагонів, а з іншого, до концентрації зернових вантажопотоків. В 1990-х залізниця Burlington Northern (BNSF з 1996 р.) запровадила технологію перевезення зерна човниковими поїздами (shuttle train) [61]. Зазначена технологія передбачає використання спеціального тарифу, який нижче, ніж для перевезення зерна повагонними відправками на 46...52%. При цьому відправник вантажу повинен бути здатним забезпечити навантаження поїзда з 75...120 вагонів протягом обмеженого часу (близько 15 годин) [32]. Зернові човникові поїзди рухаються між пунктами навантаження та вивантаження за твердим розкладом відповідно до контракту на 6...9 місяців, без переформування та відчеплення поїзних локомотивів [62]. За оцінкою американських фахівців перевезення зернових

за технологією «shuttle-train», забезпечує економію витрат на використання інфраструктури та вагонів до 2 раз і до 75% витрат на локомотивну тягу [63].

Інфраструктурну основу для маршрутизації вагонопотоків зерновими вантажами в США надає система вузлових елеваторів, які концентрують вантажопотоки для забезпечення можливості навантаження зернового маршруту протягом доби. Підвіз зерна у вузлові елеватори з лінійних здійснюється як залізничним, так і автомобільним транспортом. Загальна кількість елеваторів зменшилась за рахунок значного скорочення числа лінійних елеваторів (country elevators); при цьому відбулося укрупнення та зростання кількості вузлових елеваторів (terminal elevators), що забезпечують відвантаження зерна на залізничний транспорт партіями, достатніми для формування маршрутів [56, 64]. Середня відстань доставки фермерами зерна на елеватори зросла з 19 до 52 км [61].

Система перевезення зерна в Канаді зазнала аналогічних змін. У відповідь на знижки, що надаються залізницями при збільшенні величини відправлення, відбулося укрупнення елеваторів. У період з 1994 по 2003 роки кількість елеваторів зменшилась на 62%, у той же час їх загальна навантажувальна здатність зменшилась тільки на 8% [61].

У цілому, незважаючи на те, що вартість виробництва зерна в США та Канаді, як правило, є більш високою, в порівнянні з основними країнами-конкурентами, ефективна система його доставки забезпечує йому конкурентоспроможність на світових ринках.

В останні роки все більшої популярності набуває технологія перевезення зерна у контейнерах, що в умовах дефіциту вагонів-зерновозів набуває особливої актуальності [65, 66]. Так, близько 4% українського зерна (2 млн. т.) наразі відправляється на експорт у контейнерах. Використання мультимодальної технології забезпечує зручне транспортування вантажів за участю декількох видів транспорту, можливість доставки «від дверей до дверей», скорочення строків та собівартості перевезення, залучення більш широкого кола навантажувальних пунктів з наступним формуванням контейнерних поїздів на опорних станціях. Для перевезення зерна в контейнерах пропонується різноманітне додаткове приладдя: вкладиші, контейнери типу платформи, пластикові щити тощо, а також розроблені

різні технології завантаження та розвантаження. Разом з тим, при використанні стандартних 20-ти та 40-а футових контейнерів виникає проблема виконання вантажних робіт на невеликих станціях через відсутність кранів відповідної вантажопідйомності (24 т, 30 т). Окрім того, більшість автомобільних доріг в Україні не передбачають рух автотранспорту масою, що перевищує 24 т.

При перевезенні зерна у контейнерах можливим є використання бімодальних перевезень, зокрема для погашення пікових навантажень на залізничну транспорту систему [31, 67]. З технічної точки зору, бімодальний транспортний засіб являє собою комбінацію дорожнього шино-пневматичного автопричепу з парою залізничних візків, обладнаних пристроєм приєднання такого бімодулю до системи зчеплення та гальмування поїзду. Впровадження такої технології за залізницях США здійснюється фірмою RailRunner [67]. Бімодальна технологія перевезення контейнерів базується на експлуатації спеціальних платформ, що транспортуються, як з використанням автомобільної тяги, так і залізничною колією шляхом встановлення платформи на спеціальні візки. Для руху залізницею використовуються візки: проміжні, для встановлення двох платформ RailRunner, та кінцеві, які використовуються для з'єднання групи платформ RailRunner та звичайних вагонів або локомотива. Підйом автомобільних коліс над рейками та введення їх в габарит виконується за рахунок заповнення повітрям пневматичних ресор візків. Витрати часу на перехід з автомобільного ходу на залізничний складають близько 4 хв на вагон-платформу. Далі сформована група вагонів прямує залізницею в складі поїзда до станції призначення. Використання бімодальної технології може забезпечити узгоджене збирання зерна у виробників автомобільним транспортом та формування маршрутів з бімодальних платформ на обраних станціях для слідування у морські порти для його експорту. При формуванні маршрутних відправок зерна в контейнерах на бімодальних платформах суттєво скорочуються витрати на початково-кінцеві операції, у порівнянні з використанням звичайних вагонів. Окрім того, відпадає необхідність завантаження цілого маршруту на одному елеваторі. Дослідження, виконані у [31] показують, що бімодальні перевезення зерна можуть конкурувати на відстанях 200...550 км.

1.5. Висновки за розділом 1

Аналіз проблеми удосконалення системи залізничних перевезень зернових вантажів на експорт для покращення експлуатаційних показників рухомого складу та зменшення транспортних витрат дозволяє зробити наступні висновки.

1. Зерновий сектор України є стратегічною галуззю економіки країни та одним з основних джерел українського експорту. Україна посідає лідируючі позиції серед найбільших світових виробників та експортерів зерна. Перспективні плани розвитку українського аграрного сектору передбачають протягом найближчих 5 років зростання обсягів виробництва зернових до 100 млн. т., а експорту до рівня 60...70 млн. т. на рік.

2. Аналіз наукових джерел показує, що існуюча система експорту українського зерна наразі демонструє свою неефективність. За оцінками експертів частка транспортних витрат у вартості вітчизняного зерна складає близько 35%, що втричі більше, ніж у США та ЄС. В умовах зростання виробництва зернових та загострення конкуренції на світових ринках необхідність вдосконалення системи транспортного забезпечення експорту зерна є актуальним завданням.

3. Основним перевізником українського зерна в порти на експорт є залізничний транспорт, що здійснює близько 70% обсягів перевезень. При цьому більше половини обсягів залізничних перевезень зернових вантажів здійснюється повагонними відправками, що знижує ефективність експлуатації рухомого складу, збільшує строки доставки та призводить до зростання транспортних витрат у кінцевій вартості зерна.

4. Одним з найбільш ефективних напрямків удосконалення залізничних перевезень масових вантажів є відправницька маршрутизація. В умовах ринкової економіки та розділення парку вантажних вагонів при визначенні доцільності впровадження маршрутизації необхідно застосовувати нові підходи, що дозволяють враховувати економічні інтереси усіх учасників перевізного процесу.

5. Для підвищення ефективності залізничних перевезень зерна в Україні може бути використаний досвід США і Канади, який полягає в підвищенні навантажувальної спроможності елеваторів, з одного боку і використанні відправницьких маршрутів для перевезення зерна зі спеціальними тарифами з іншого.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИСТЕМИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНА

2.1. Постановка завдань дослідження та визначення методів їх розв'язання

За останнє десятиріччя Україна впевнено посіла лідируючі позиції серед найбільших світових експортерів зерна. Перспективні плани розвитку українського аграрного сектору передбачають протягом найближчих 5 років зростання обсягів експорту зернових до рівня 60...70 млн. т. на рік. При цьому на перший план виступає проблема не виробництва такого обсягу зерна, а його транспортування на експорт через українські порти.

Основним перевізником зерна на експорт наразі є залізничний транспорт, що здійснює близько 70% обсягів відповідних перевезень. Однак, як показує аналіз, в системі організації залізничних перевезень зернових існують суттєві проблеми, пов'язані, зокрема, з неефективною експлуатацією рухомого складу. Так, зокрема, основна частина зерна транспортується повагонними відправками, що суттєво збільшує обіг вагонів та строки доставки зернових вантажів, спричинює додаткову переробку вагонів на технічних станціях та, відповідно, призводить до зростання транспортних витрат і кінцевої вартості зерна на світових ринках. Тому підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів на експорт за рахунок удосконалення технології експлуатації рухомого складу є актуальним завданням.

На підставі виконаного аналізу наукових праць сформульована мета дослідження, що полягає у підвищенні ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом у морські порти за рахунок впровадження відправницької маршрутизації вагонопотоків.

Залізничні перевезення зернових вантажів на експорт представляють собою складний процес, учасниками якого є виробники зерна, зернотрейдери, польові, лінійні та портові елеватори, залізничні станції та ділянки, припортові станції, порти тощо, які поєднані між собою безліччю взаємозв'язків фізичного,

технологічного, інформаційного та економічного характеру, що постійно змінюються у часі. Варто зазначити, що перевезення зернових вантажів характеризується сезонними коливаннями обсягів, що також необхідно враховувати під час дослідження. Таким чином система залізничних перевезень зерна на експорт розглядається як складна, динамічна, стохастична, багатофазна та багатоканална СМО, дослідження функціонування якої необхідно здійснювати з використанням системного підходу. Одним з основних принципів системного аналізу є принцип ієрархічного дослідження системи (рис. 2.1).

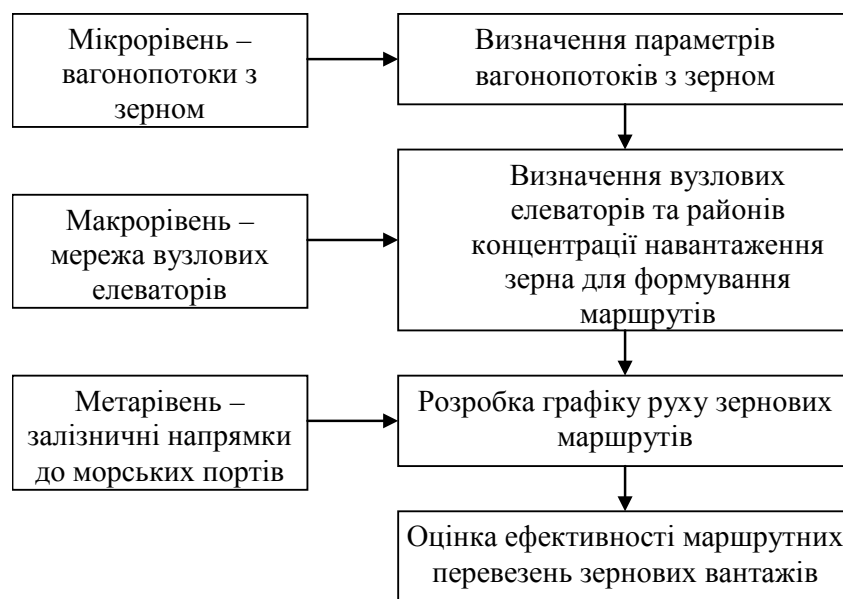


Рисунок 2.1 – Ієрархічна структура системи залізничних перевезень зерна

На макрорівні об'єктами дослідження є вантажо- та вагонопотоки з зерном, що відправляються на експорт. Задачею дослідження на цьому рівні є встановлення параметрів вагонопотоків з зерном, аналіз обсягів роботи станцій з навантаження зерна, визначення експлуатаційних показників роботи рухомого складу. Для вирішення цих задач застосовуються методи реляційної алгебри та математичної статистики. На макрорівні основною задачею дослідження є формування експортно-орієнтованої мережі вузлових елеваторів та відповідних їм районів концентрації навантаження зернових для формування маршрутних поїздів. Пошук рішень здійснюється на основі методів кластерного аналізу, теорії множин та

багатокритеріальної оптимізації. На метарівні досліджується ефективність відправницької маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів, зокрема при різних варіантах організації руху зернових маршрутів та вплив показники експлуатації рухомого складу. Для отримання рішень на цьому рівні використані економіко-математичне моделювання та регресійний аналіз, імітаційне моделювання та теорія організації експлуатаційної роботи залізниць.

Зовнішнім середовищем для системи залізничних перевезень зерна є, з одного боку, система його виробництва, з іншого – діюча система вантажних перевезень, в першу чергу, залізничних та автомобільних. Вхідним потоком є вантажопотік зерна, що прямує від лінійних елеваторів у порти на експорт, а вихідним потоком є вагонопотоки з зерном, що прямують у складі зернових маршрутів або повагонними відправками. Загальна характеристики системи залізничних перевезень зернових вантажів на експорт наведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристика системи залізничних перевезень зерна

Класифікаційна ознака	Клас системи
Природа елементів	Реальна
Походження	Штучна
Мінливість властивостей	Динамічна
Передбачуваність станів	Стохастична
Характер поведінки	З управлінням
Ступінь складності	Складна
Ступінь зв'язку з зовнішнім середовищем	Відкрита
Ступінь участі людини у реалізації керуючих впливів	Ергатична

Досягнення мети дослідження здійснюється за рахунок використання системного аналізу при формуванні завдань дослідження та при виборі методів їх вирішення. Структуру завдань і використаних для їх розв'язання методів дослідження наведено на рис. 2.2.

Дослідження, пов'язані з вирішенням поставленої задачі, а також апробація отриманих результатів, виконані для напрямку доставки зернових вантажів на експорт через один з найбільших портових терміналів України – ТОВ «Трансінвест-сервіс» («ТІС-Зерно»), характеристика якого наведена у Додатку Б.



Рисунок 2.2 – Завдання дослідження та методи їх розв'язання

Система, яка забезпечує експорт зерна через морські порти включає: систему зберігання, систему перевалки зерна в портах і систему транспортування зерна до портів [68]. Виконаємо аналіз кожної з цих складових та оцінку їх відповідності існуючим та перспективним обсягам експорту зерна

2.2 Сучасний стан системи зберігання зерна

Система зберігання зерна в Україні представлена зерноскладами сільгоспвиробників, лінійними і перевалочними, заготівельними і комерційними елеваторами, термінальними ємностями та елеваторами переробних підприємств. За оцінками українського сайту Elevatorist.com, що спеціалізується на аналітиці

елеваторної інфраструктури, в даний час в Україні близько 1200 зерносклади різного типу і потужності зберігання [25]. Однак більша частина зерноскладів побудована ще за часів СРСР і, відповідно, має значний рівень зносу, як інфраструктури зберігання, так і технологічного обладнання. Це призводить, з одного боку, до істотних втрат зерна при його зберіганні, з іншого – до збільшення вартості українського зерна на зовнішніх ринках [69].

За способом зберігання зерносклади можна розділити на склади відкритого і закритого типу. Основним типом критих зерноскладів є елеватори. Технологічний процес роботи елеватора включає наступні основні операції: приймання зерна; зважування; аналіз якості зерна; сушка; очищення; зберігання; відвантаження на залізничний, автомобільний чи водний транспорт.

По конструкції приміщень для зберігання елеватори можуть бути підлогового і силосного типу; за технологічним оснащенням – немеханізовані і механізовані, а також механізовані з частковою автоматизацією процесів; за типом матеріалу силосів – бетонні і металеві. За потужністю одноразового зберігання – малі (до 10 тис. т.), середні (10...50 тис. т.), великі (понад 50 тис. т.). За призначенням елеватори поділяють на: зерносклади сільгоспвиробників (фермерські), комерційні, лінійні (стаціонарні); портові (перевалочні термінали), промислово-виробничі та елеватори держрезерву [70].

З 2004 р. Законом України «Про зерно та ринок зерна» була введена обов'язкова сертифікація зерноскладів і регламентована їхня робота [71]. Однак у 2014 р. обов'язкова сертифікація зерноскладів була скасована. Разом з тим в даний час елеватори в Україні часто поділяють також на сертифіковані склади та несертифіковані (склади в умовах виробників) – так, наразі, близько 70% елеваторних потужностей в Україні є сертифікованими, причому майже 90% сертифікованих елеваторів є у приватній власності [68].

У 1991 р. в Україні налічувалося близько 545 елеваторів і хлібоприймальних пунктів, загальним обсягом одноразового зберігання зерна близько 30 млн. т. із середнім рівнем зносу елеваторного обладнання 50% [69].

До середини 2000-х р.р. великий і середній бізнес виявляв незначний інте-

рес як до зернової галузі в цілому, так і до модернізації і будівництва елеваторної інфраструктури. Це пояснюється, з одного боку загальною кризою в економіці України в 1990-ті р.р., з іншого – порівняно низьким рівнем як виробництва, так і експорту зернових. Так, в період 1991...2000 р.р. середньорічний обсяг виробництва зерна склав 32,8 млн. т. (мінімум у 2000 р. – 24,4 млн. т.), а середньорічний обсяг експорту – 1...2 млн. т (мінімум в сезоні 1992/1993 – 0,25 млн. т.) [4, 72, 73].

За останнє десятиліття істотно зросло як виробництво зерна, так і його експорт (див. розділ 1). Відповідно зросла і інвестиційна привабливість зернового бізнесу, що дало поштовх як для будівництва нових сучасних елеваторів, так і для модернізації існуючих. Так, за цей період кількість елеваторів збільшилася вдвічі, а їх сумарна потужність одночасного зберігання зросла в 1,5 рази: в даний час в Україні функціонує більше 1200 елеваторів різного типу і призначення загальною потужністю 48 млн. т. [25]. При цьому, якщо частка України в загальносвітовому виробництві зернових становить близько 3%, то загальна потужність українських елеваторів становить близько 1,7% від загальносвітового обсягу зберігання (2,9 млрд. т.) [764]. Варто зазначити, що зернові компанії щороку інвестують значні кошти у будівництво нових та розширення і модернізацію існуючих потужностей для зберігання зерна та мають перспективні плани щодо збільшення як лінійних, так і портових зерносклади [75-77]. Темпи ж введення нових елеваторних потужностей в останні роки складають 1...1,5 млн. т. на рік (рис. 2.3) [4].

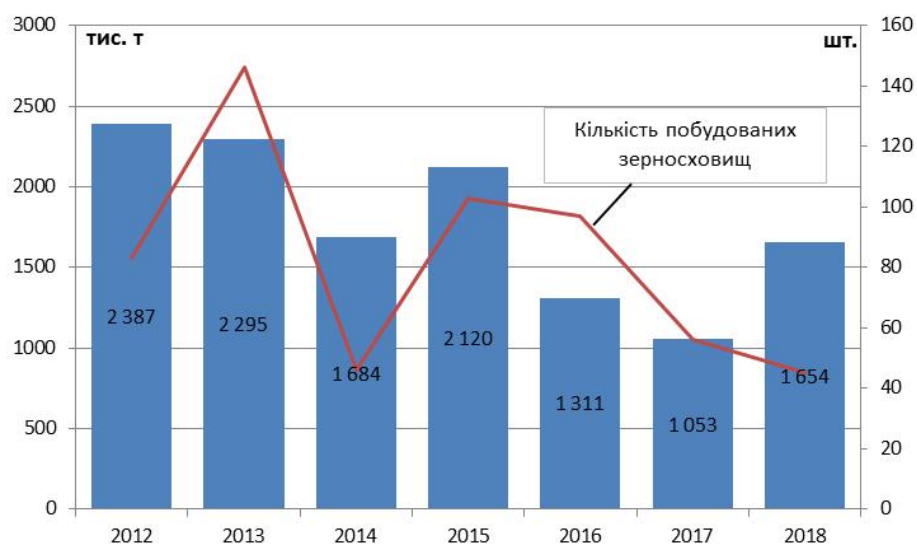


Рисунок 2.3 – Динаміка введення нових потужностей для зберігання зерна

Близько 35% ємності зберігання зерна наразі забезпечують зерносклади підлогового зберігання з низьким рівнем механізації і автоматизації [68, 69]. Крім того, близько 75% елеваторів потребують модернізації. Вартість же модернізації, за оцінками експертів, становить близько 50 USD за 1 т зберігання, а будівництво нового сучасного елеватора обходиться 150...200 USD за 1 т (з урахуванням побудови транспортної інфраструктури – 250...300 USD) [78].

По регіонах України елеваторні потужності розташовані нерівномірно (табл. 2.2) [4, 25]. Найбільшу загальну ємність одноразового зберігання мають зерносховища, розташовані в Одеській (4,7 млн. т.), Полтавській (4,6 млн. т.), Миколаївській (3,7 млн. т.), Кіровоградській (3,5 млн. т.) та Вінницькій (3,3 млн. т.) областях. У цих же областях сконцентровано і найбільша кількість елеваторів.

Таблиця 2.2 – Розподіл елеваторних потужностей по регіонам України

№ п/п	Область	Виробництво зернових, тис. т.*	Загальна ємність зберігання, тис. т.*	Кількість елеваторів*		Середня ємність елеватора, тис. т.
				Всього	Ємністю більше 100 тис. т.	
1	Вінницька	5911,1	3332	82	5	40,6
2	Волинська	1237,2	651	25	0	26,0
3	Дніпропетровська	3487,5	2825	79	3	35,8
4	Донецька	1344,4	961	31	2	31,0
5	Житомирська	2424,1	1128	42	2	26,9
6	Закарпатська	375,9	88	3	0	29,3
7	Запорізька	2233,3	1913	51	2	37,5
8	Івано-Франківська	804,5	427	8	0	53,4
9	Київська	4081,5	2150	53	4	40,6
10	Кіровоградська	3763,2	3521	90	8	39,1
11	Луганська	1159,4	863	20	3	43,2
12	Львівська	1440,0	741	30	0	24,7
13	Миколаївська	2673,4	3751	61	10	61,5
14	Одеська	4319,9	4722	94	13	50,2
15	Полтавська	6341,8	4643	95	10	48,9
16	Рівненська	1259,5	781	20	1	39,1
17	Сумська	4470,1	2209	54	3	40,9
18	Тернопільська	2631,9	1636	49	4	33,4
19	Харківська	3829,2	2688	77	6	34,9
20	Херсонська	2267,7	1873	55	1	34,1
21	Хмельницька	3861,1	2421	68	6	35,6
22	Черкаська	4644,0	2381	56	3	42,5
23	Чернівецька	586,4	213	8	0	26,6
24	Чернігівська	4909,5	2034	60	4	33,9
В цілому по Україні		70056,5	47952	1211	90	39,6

* по даним 2018 р. (без врахування АР Крим та непідконтрольних районів Донецької та Луганської областей)

Серед зерносховищ України значна частина (879 елеваторів, тобто 73%) мають потужність зберігання до 50 тис. т., 242 сховища (20%) – мають у своєму розпорядженні потужності 50...100 тис. т., а потужності зберігання 90 елеваторів (7%) перевищують 100 тис. т. Середня потужність українського елеватора становить 40 тис. т. Характеристика найбільших лінійних елеваторів приведена в табл. 2.3 [25].

Таблиця 2.3 – Характеристика найбільших лінійних елеваторів

№ п/п	Елеватор	Компанія-власник	Насел. пункт	Область	Потужність, тис. т.
1	Степанівський	UkrLandFarming	Степанівка	Сумська	488
2	Заводський	UkrLandFarming	Заводське	Полтавська	446
3	Земля і воля	Земля і воля	Бобровиця	Чернігівська	307
4	Дубенський	UkrLandFarming	Дубно	Рівненська	277
5	Елеватор Агро	Агрейн	Івковці	Чернігівська	232
6	Ладижинський	МХП	Ладижин	Вінницька	225
7	Катеринопільський	МХП	Єрки	Черкаська	220
8	Хлібна база №73	Держкомрезерв України	Павлопілля	Дніпропетров.	212
9	Присянський	ДП "Сантрейд"	Присяна	Дніпропетров.	195
10	Саратський	Саратський КХП	Сарата	Одеська	176

Що стосується технічного та технологічного оснащення зерносховищ аграріїв, то, в першу чергу, найбільш технологічними є склади великих аграрних компаній та підприємств (з земельним банком більше 3000 га). Разом з тим, більше половини виробників малого сегменту також мають на своїх зерносховищах весь необхідний комплекс спеціалізованого обладнання (рис. 2.4) [77].

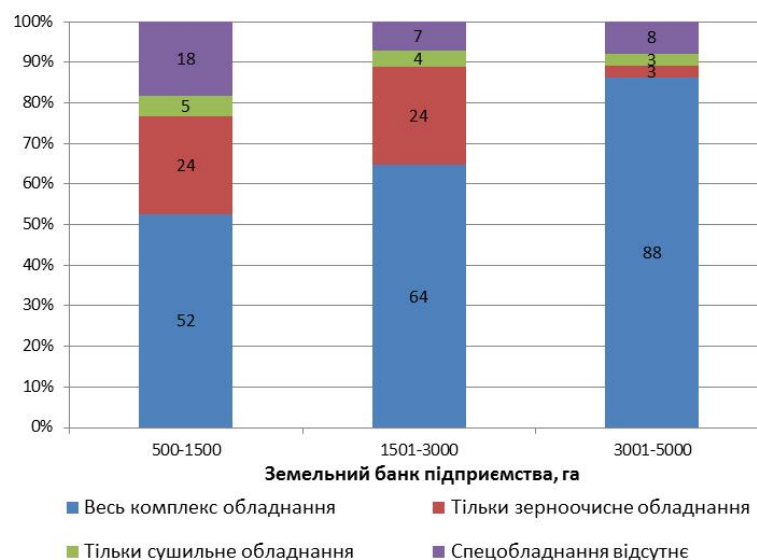


Рисунок 2.4 – Наявність спец обладнання на зерносховищах виробників зерна

Вартість послуг лінійного елеватора по обробці тієї чи іншої партії зерна в значній мірі залежить від її якості і, відповідно, необхідності сушіння і очищення зерна [79]. Так, загальна вартість обробки партії зерна масою 70 т з відвантаженням в вагон і терміном зберігання 30 діб без сушіння та очищення становить 11,3 тис. грн., а з сушінням (на 5%) і очищенням (на 3%) – 31,5 тис. грн. Структура витрат на послуги елеватора при зберіганні на відвантаженні 70 т зерна наведена на рис. 2.5.

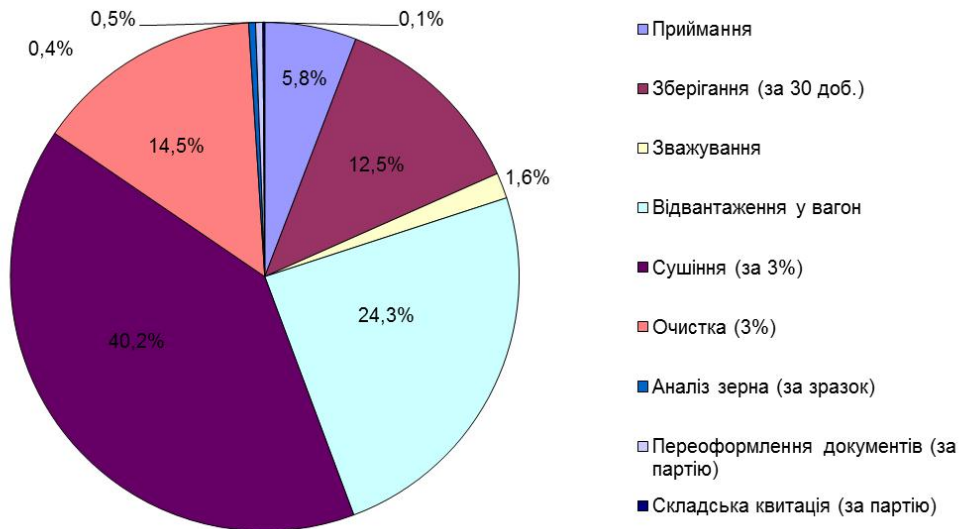


Рисунок 2.5 – Структура витрат на послуги елеватора

Найбільш витратна операція при обробці зерна – сушка (до 50%); вартість цієї операції безпосередньо залежить від вартості газу. Середня ж вартість обробки зерна на лінійних елеваторах коливається в основному в межах 8...15 USD/т.

В цілому ж наявна елеваторна інфраструктура аграріїв забезпечує існуючі обсяги виробництва українського зерна, а динаміка розвитку потужностей лінійних елеваторів, дає підстави позитивно оцінювати можливості по освоєнню і перспективних обсягів.

2.3 Аналіз системи перевалки зерна в морських портах

Близько 95% українського експорту зернових відвантажується через морські порти. У 2019 р. сумарний обсяг перевалки зерна в українських портах склав 53,8 млн. т., що становить близько 33% від загального обсягу перевалки всіх ван-

тажів в портах (160 млн. т.) [4, 26]. Варто зазначити, що обсяги перевалки зернових в українських портах демонструють стійку тенденцію до зростання, в т.ч. зростає також і частка зернових вантажів у загальних обсягах переробки вантажів у морських портах – з 6% у 2007 р. до 33% у 2019 р. (рис. 2.6) [4, 26, 80].

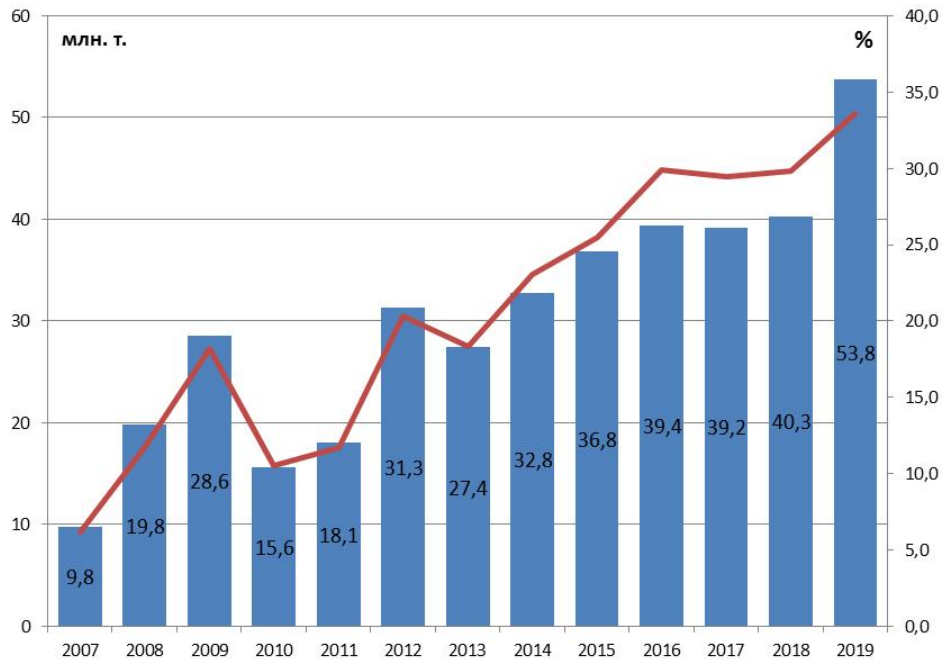


Рисунок 2.6 – Обсяги перевалки зернових вантажів в морських портах України у 2007-2019 р.р.

У 2018 р. наявна потужність українських портових терміналів з перевалки зерна склала 66 млн. т/рік, а у 2019 р. – за деякими оцінками досягли рівня 85 млн. т./рік, додатково також забезпечується перевантаження до 12,5 млн. т. за прямим варіантом [27, 81]. В Україні перевалка експортних і транзитних зернових вантажів йде в акваторіях 13 морських торговельних портів: Бердянський, Білгород-Дністровський, Ізмаїльський, Чорноморський, Маріупольський, Миколаївський, Одеський, Ренійський, Скадовський, Південний, Херсонський, Усть-Дунайський, порт Ольвія. З цих портів 10 розташовані на Чорному морі, 2 порти – на Азовському морі. У 2014 році в зв'язку з анексією Криму Україна втратила близько 10% портових потужностей, що забезпечували експорт зернових. Однак, порти Криму використовувалися переважно для перевантаження

зерна з довколишніх районів, а також зерна в періоди вичерпання пропускної спроможності залізниць у напрямку портів Одеси [68].

У 2019 р. найбільші обсяги перевалки зерна було зафіксовано у Миколаївському морському порту (16,2 млн. т.), Чорноморському (12,7 млн. т.), Південному (11,0 млн. т.), Одеському (8,9 млн. т.).

Близько 90% обсягів перевалки зерна у морських портах здійснюють приватні термінали. За обсягами перевалки зерна у сезоні 2018/2019 лідерами стали термінали групи компаній ТІС (порт Південний) – 6,5 млн. т, «ТрансБалкТермінал» (Чорноморський МТП) – 3,6 млн. т., МСП «Ніка-Тера» (порт Ольвія, Миколаїв) – 3,3 млн. т. За обсягами одночасного зберігання найбільшими терміналами є «ТІС-Зерно» (порт Південний) – 460 тис. т., МСП «Ніка-Тера» (Миколаївський порт) – 330 тис. т., Іллічівський зерновий термінал (Чорноморськ порт) – 258 тис. т. Характеристика найбільших портових терміналів приведена в табл. 2.4 [25, 69].

Таблиця 2.4 – Характеристика найбільших зернових терміналів у портах

№ п/п	Термінал	Порт	Ємність, тис. т.
1	ТІС-Зерно	Південний	460
2	МСП Ніка-Тера	порт Ольвія	330
3	Іллічівський зерновий термінал	Чорноморський	258
4	Укрелеваторпром	Одеський МТП	206
5	Трансбалктермінал	Чорноморський	190
6	Зерновий термінал Ніка-Тера	Миколаївський	180
7	Бруклін-Київ	Одеський	175
8	ТІС-Міндобрива	Південний	170
9	Грінтур-Екс	Миколаївський	170
10	СП «Рісойл-Термінал»	Чорноморський	150

Портова термінальна інфраструктура для перевалки зерна потужно розвивається, агрохолдинги та інфраструктурні компанії наразі вважають будівництво перевантажувальних терміналів у портах привабливим напрямком для інвестицій. У 2019 р. введено у дію 6 великих терміналів загальною ємністю 500 тис. т. та потужністю перевалки 7,3 млн. т/рік, а до 2020 р. потужність з перевалки зерна в українських портах планується довести до 90 млн. т. [69, 80, 81].

Важливим фактором ефективної роботи портових терміналів є їх транспортне забезпечення – зокрема припортові залізничні станції та припортові автомобільні дороги. Слід зазначити, що розвиток припортових станцій здійснюється з набагато меншою інтенсивністю, ніж нарощування обсягів експорту зернових вантажів через порти. Показовим прикладом у цьому відношенні є стратегія розвитку інфраструктури з перевалки зерна, яку реалізує група компаній «Трансінвестсервіс» (ТІС). На території цього приватного транспортного вузла споруджуються не тільки елеватори для зберігання і перевалки зернових вантажів, але також і залізнична інфраструктура (колійний розвиток, ремонтна база і ін.). Значні інвестиції компанія також вкладає в інфраструктурні проекти зі збільшення пропускної здатності магістральних залізничних підходів до порту [82].

Суттєвим фактором, що негативно впливає на конкурентоздатність українських портів, є портові збори, яких в Україні налічується 8 та до 20 видів різних додаткових платних послуг. У переважній більшості країн кількість таких обов'язкових зборів не перевищує 2...4 (а, у державних портах Італії та Франції такий збір всього один). Загальна ж величина зборів в українських портах у 2...4 рази вище за середньосвітові [83]. Разом з тим, Кабінет Міністрів України у 2018 р. затвердив зниження величини портових зборів на 20% [84].

В цілому ж можна констатувати, що портова термінальна інфраструктура у морських портах України є достатньою для забезпечення як існуючих, так і перспективних обсягів експорту зерна.

2.4 Проблеми системи транспортування зернових вантажів

Система транспортування зерна на експорт представлена в Україні залізничним, автомобільним та річковим транспортом,

2.4.1 Перевезення зерна автомобільним транспортом

Одним з ключових елементів у системі транспортування українського зерна, особливо на внутрішньому ринку, є автомобільний транспорт. Близько 30% всього експортного зерна доставляється в порти автомобілями-зерновозами. Мережа ав-

томобільних доріг України є досить розгалуженою, а їх загальна експлуатаційна довжина складає 160 тис. км [4]. На сьогоднішній день ринок автотранспортних послуг представлений більш ніж 130 тис. перевізників, які використовують понад 400 тис. транспортних засобів. Зокрема, близько 62 тис. перевізників здійснюють вантажні перевезення, використовуючи для цього близько 220 тис. вантажних автомобілів. У 2019 р. автотранспортні підприємства перевезли 19,1 млн. т. зерна, що складає близько 10% від загальних обсягів автоперевезень (190 млн. т). Варто зазначити, що обсяги автомобільних перевезень зернових вантажів в останні роки демонструють тенденцію до зростання (рис. 2.7) [4].

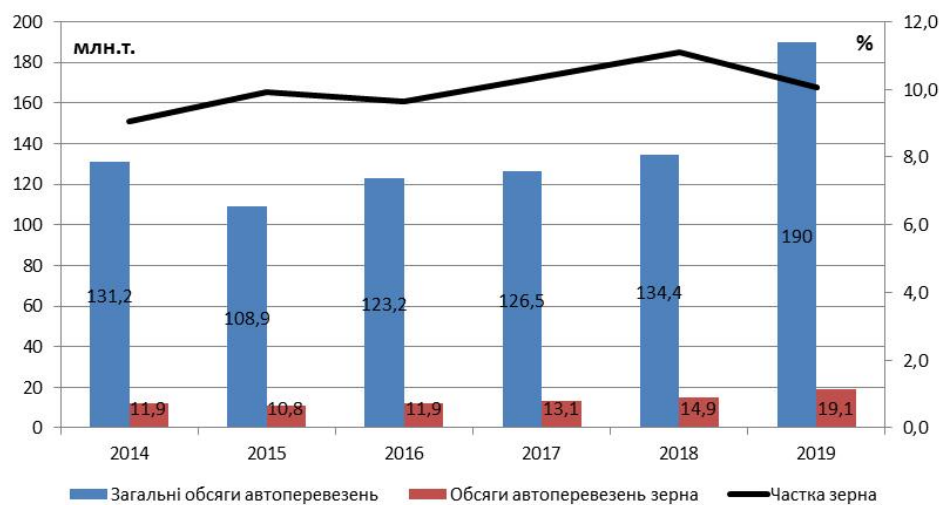


Рисунок 2.7 – Обсяги автоперевезень зернових вантажів

В першу чергу, зросли обсяги автоперевезень зерна у напрямку портів Миколаєва та Одеси, зокрема і через переорієнтацію частини вантажопотоку з залізниці на автомагістралі. Серед причин такої ситуації – дефіцит локомотивної тяги та неритмічність подачі вагонів під завантаження. У 2018 р. найбільшим попитом користувались міжрегіональні автоперевезення кукурудзи на відстань від 330...470 км за середньою ставкою 660...840 грн/т з Полтавської і Черкаської областей в морські порти Миколаєва для подальшої відправки на експорт. При перевезенні зерна на короткі відстані, що характерно для Миколаївської, Херсонської та Одеської областей, тариф у 2018 р. склав 5,9...6,7 грн/т-км (до 50 км) та 4...4,3 грн/т-км (до 100 км), на більш довгих (міжобласних) маршрутах тариф на перевезення зерна коливається в межах 1,2...1,8 грн/т-км [85].

Серед переваг автомобільних перевезень: можливість доставки «від дверей до дверей», гнучка тарифна політика, зокрема, через велику конкурентність на ринку автоперевезень, можливість відвантаження невеликими партіями, можливість виконання вантажних робіт практично на будь-якому зерносховищі, короткі терміни доставки, спрощені процедури оформлення перевезення тощо.

Разом з тим можна виділити і такі проблеми автоперевезень зерна:

- постійно зростаючі ціни на паливо зумовлюють зростання тарифів на перевезення, варто також зазначити, що близько 80% нафтопродуктів для виробництва палива Україна імпортує;
- низька якість автомобільних доріг, особливо на регіональному рівні, призводить до збільшення амортизаційних відрахувань і витрат ресурсів і часу на ремонт автотранспорту;
- низька пропускна здатність припортових автомобільних доріг;
- заборона на пропуск по автодорогах України автотранспорту масою понад 24 т., а рух перевантажених зерновозів (попри діючу заборону) суттєво пошкоджує автодороги, особливо у напрямку портів;
- забруднення атмосфери шкідливими викидами продуктів згоряння палива.

Для автомобільного транспорту немає альтернативи при транспортуванні зерна з поля на елеватори та при перевезенні на короткі відстані. У той же час, автотранспортні перевезення втрачають свою конкурентність при необхідності доставки зерна на великі відстані (понад 250 км), так як в цьому випадку питомі витрати на доставку 1 т продукції значно збільшуються.

2.4.2 Перевезення зерна річковим транспортом

Експлуатаційна довжина судноплавних річок України оцінюється в 2,1 тис. км [4]. Основною судноплавною річкою країни є Дніпро, що має протяжність на території України 1,1 тис. км, впадає в Чорне море; це робить його привабливим з точки зору доставки вантажів у морські порти для перевалки на морські судна. В першу чергу, Дніпро є привабливим як транспортна магістраль для перевезення зернових вантажів, так як річка протікає по території 9

областей країни, які забезпечують близько половини валового збору зерна і олійних культур в Україні. Також важливим для перевезень зернових вантажів є ділянка річки Південний Буг, що впадає в Чорне море біля Миколаєва.

Річковий транспорт відноситься до внутрішнього водного транспорту і є одним з найбільш дешевих та екологічних видів перевезень. Однак, потенціал річкового транспорту в Україні наразі використовується недостатньо. Як свідчать дані Державної служби статистики України (враховує обсяги перевезень, які виконані суднами тільки української реєстрації), за роки незалежності обсяги річкових перевезень в Україні зменшилися у 18 раз – з 65,7 млн. т. у 1990 р. до 3,7 млн. т. у 2018 р. [4]. Однак, за даними Річкової інформаційної служби водних шляхів України (РІС) у 2018 р. загальні обсяги перевезення вантажів тільки по Дніпру склали близько 10 млн. т. [86]. Серед номенклатури вантажів, що перевозяться річковим транспортом переважають будівельні матеріали (48%), вугілля (15%), руда (10%). В останні роки зросла частка зернових вантажів в загальному обсязі річкових перевезень, яка в 2018 р. складала близько 10% – 0,4 млн. т. [4, 87]. За даними ж РІС у 2019 р. тільки по Дніпру перевезено 3,9 млн. т. зернових вантажів (38%) [86], що становить близько 7% загальних обсягів експортних перевезень зерна (рис. 2.8).

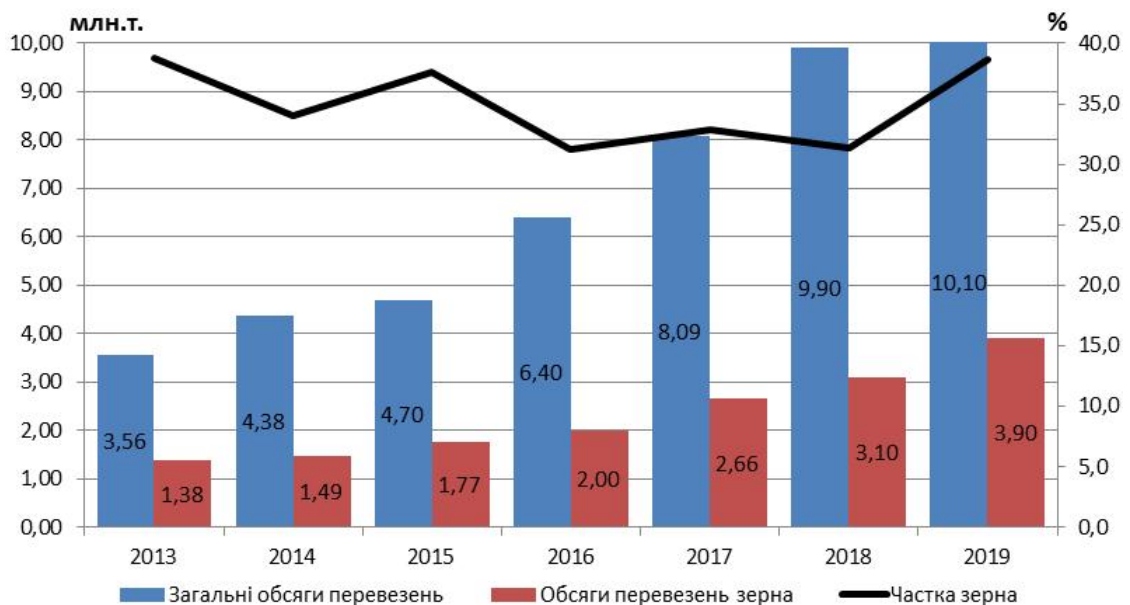


Рисунок 2.8 – Обсяги перевезення зерна річковим транспортом (за даними Річкової інформаційної служби водних шляхів)

Перевагами використання внутрішніх водних шляхів є низька собівартість вантажоперевезень в перерахунку на тонну вантажу; порівняно невеликі інвестиції для організації роботи (практично немає необхідності в спорудженні та утриманні шляхів сполучення); низьке екологічне навантаження на навколишнє середовище. За показниками енергетичних витрат річковий транспорт в 5 разів ефективніший за залізничний та у 10 разів – за автомобільний [87]. До недоліків річкового транспорту можна віднести: зимову перерву у навігації (1,5... 4 місяці), сильне коливання рівня води у річках, їх замулення; обмеженість маршрутів перевезень; зношеність або відсутність портової інфраструктури для зберігання та перевантаження вантажів; зношеність парку суден.

Стан парку річкових суден в Україні є критичним; так у 2017 р. загальний парк річкових суден України становив 1401 од., з яких власне вантажних (суховантажів) – 455 од. Значна частка суден наближається до критичного строку служби або повністю вичерпала свій ресурс, оскільки переважна частина суден побудована у 80-х або у 70-х роках ХХ століття, а у ХХІ столітті побудовано всього близько 7% парку річкових суден [87, 88].

Разом з тим, розташування основних районів вирощування зернових поблизу основної водної артерії – річки Дніпро сприяє використанню для їх перевезення річкового транспорту. Всього в Україні тільки близько 50 (4%) елеваторів мають інфраструктуру для виконання вантажних операцій з річковими суднами [25]. Варто відзначити, в останні роки, враховуючи зростання обсягів експорту та проблеми у системі залізничних та автомобільних перевезень, деякі великі агрокомпанії все більше уваги приділять розвитку річкових перевезень зерна. Так, у власності компанії «Нібулон» нараховується близько 70 сучасних суден (буксирів та барж), а у планах – довести свій парк до 100 суден, щоб забезпечувати щорічні обсяги перевезень зерна 3...4 млн. т. Аналогічні плани і у декількох інших аграрних холдингів. Загальний же потенціал річкових перевезень зерна оцінюється на рівні 10...12 млн. т/рік, тобто до 20% обсягів експортних перевезень зернових [89].

2.4.3 Залізничні перевезення зерна

Залізниці забезпечують більше 80% вантажообігу (без врахування трубопровідного транспорту) [4]. Експлуатаційна довжина залізничних колій (без врахування тимчасово окупованих територій, залізнична мережа яких наразі не експлуатується) складає 19,8 тис. км, з яких 9,9 тис. км (47,2%) електрифіковано [90]. Загальний парк вантажних вагонів у 2019 р. склав 196 тис. од. (з яких у власності підприємств УЗ 106 тис. од., у власності приватних компаній – 90 тис. од.); при цьому загальний робочий парк складає 135 тис. од. (з яких 55 тис. од. власності УЗ, 80 тис. од. власності приватних компаній) [45]. Інвентарний парк вантажних локомотивів у 2018 р. склав 1758 локомотивів (1149 електровозів та 609 тепловозів), з них в експлуатації – 945 од. (743 електровози, 202 тепловози) [91].

Близько 65% обсягів перевезення зернових вантажів в Україні здійснюється залізничним транспортом, а для експортних перевезень у морські порти цей показник перевищує 70% [68, 69]. Слід зазначити, що серед лінійних елеваторів більше 80% мають можливість відвантаження у залізничні вагони, в той же час серед «польових» елеваторів таку можливість мають близько 15% [24, 25].

У 2019 р. українські залізниці перевезли рекордний обсяг зернових вантажів 39,8 млн. т. (+21% до 2018 р.). Варто зазначити, що обсяги залізничних перевезень зернових демонструють тенденцію до зростання – так, з 2001 р. обсяг перевезення зерна виріс у більш, ніж у 4 рази (рис. 2.9) [4].

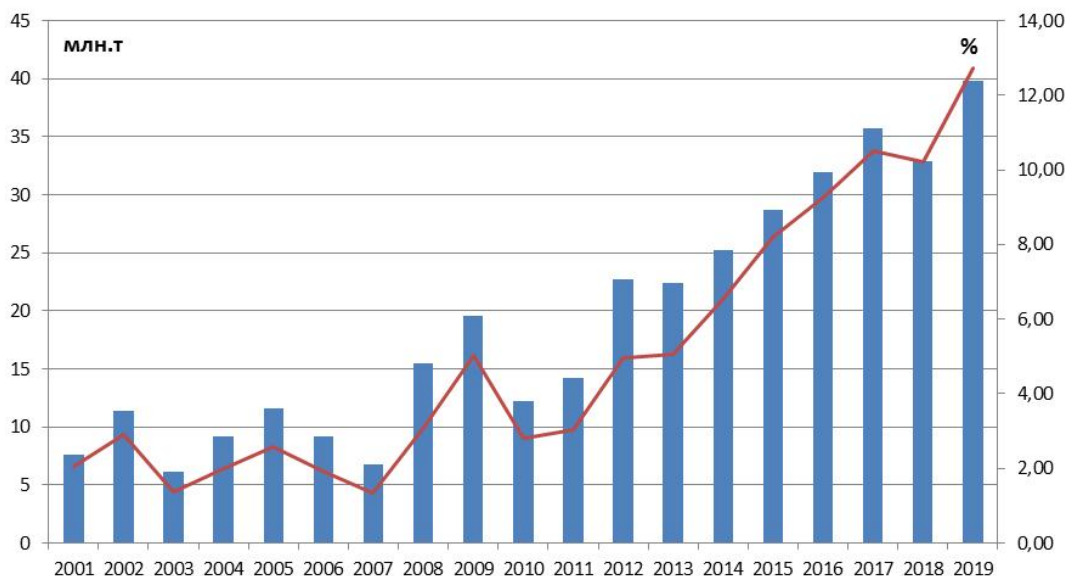


Рисунок 2.9 – Обсяги залізничних перевезень зерна

Зростає також і частка зернових вантажів в загальному обсязі залізничних перевезень: якщо в 2001 р. перевезення зерна становили лише 2%, то в 2019 р. – вже 12,7% (рис. 2.9). При цьому перевезення зернових складає близько 40% від усього обсягу перевезень, виконаних в вагонах парку Укрзалізниці [68].

У структурі залізничних перевезень зерна (табл. 2.5) переважає експорт; причому, якщо у 2010 р. частка експорту у загальних обсягах перевезення зерна складала 31,5%, то у 2019 р. – вже 87% [4, 92, 93].

Таблиця 2.5 – Обсяги та структура залізничних перевезень зерна

Рік	Загальні обсяги, млн. т.	Внутрішні		Імпорт		Експорт		Транзит	
		млн. т	%	млн. т	%	млн. т	%	млн. т	%
2010	12,20	3,96	32,46	0,15	1,23	3,85	31,56	4,24	34,75
2011	14,20	3,20	22,54	0,06	0,42	8,90	62,68	2,04	14,37
2012	22,70	1,32	5,81	0,04	0,18	20,70	91,19	0,64	2,82
2013	23,22	1,17	5,04	0,03	0,15	21,29	91,69	0,72	3,12
2014	25,83	1,32	5,11	0,05	0,18	23,78	92,06	0,68	2,63
2015	29,32	1,77	6,04	0,03	0,11	27,33	93,21	0,19	0,63
2016	31,97	2,58	8,07	0,09	0,29	29,04	90,84	0,26	0,81
2017	35,70	4,00	11,2	0,10	0,28	31,22	87,45	0,38	1,06
2018	32,9	2,26	6,87	0,03	0,09	30,4	92,40	0,21	0,64
2019	39,8	4,77	11,9	0	0	34,63	87,10	0,40	1,0

В структурі експортних перевезень залізниць України також спостерігається зростання частки зернових перевезень – якщо, у 2010 р. вона становила 3,5% від загальних обсягів експорту, то у 2019 р. – вже 30% (рис. 2.10) [4, 93].

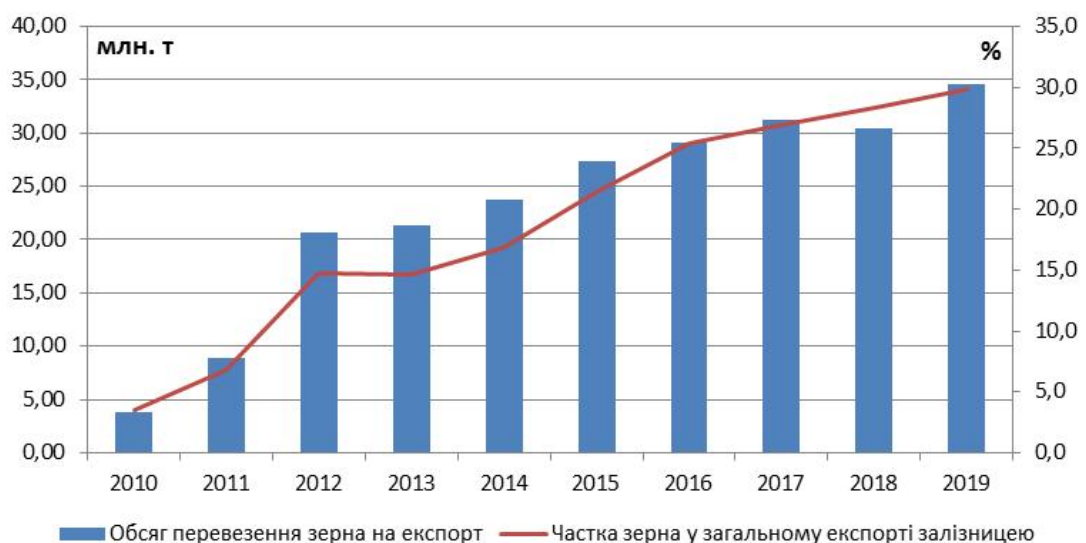


Рисунок 2.10 – Обсяги експортних залізничних перевезень зерна

Важливо відзначити, що для Укрзалізниці перевезення зернових вантажів є доволі вигідними, у порівнянні з іншими масовими вантажами: так, дохідна ставка 10 ткм при перевезення зерна складає 2817 грн., в той час як при перевезенні будматеріалів – 1877 грн, а руди – 1736 грн. [94].

Аналіз показав, що існує тісний зв'язок між обсягами експорту зерна $Q_{\text{експ}}$ та обсягами його перевезення залізничним транспортом $Q_{\text{зал}}$ (рис. 2.11) [95].

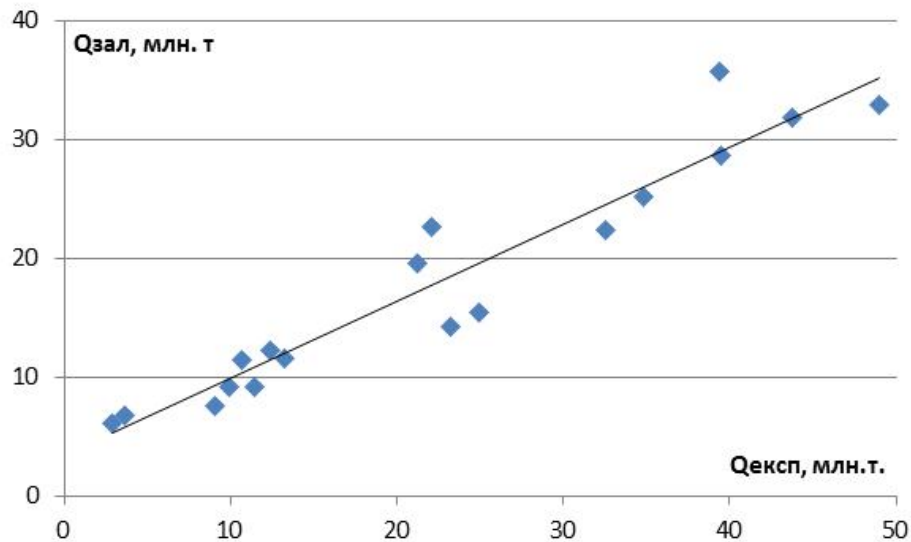


Рисунок 2.11 – Зв'язок між обсягами експорту зерна та обсягами його залізничних перевезень

Виконаний кореляційний аналіз показав, що розрахункові обсяги залізничних перевезень зерна (млн. т) можуть бути визначені за виразом:

$$Q_{\text{зал}} = 0,65 Q_{\text{експ}} + 3,38. \quad (2.1)$$

Навантаження зерна здійснюється на залізничних станціях практично по всій території країни; при цьому до завантаження зернових пристосовано більше 500 станцій, загальний потенціал навантаження яких складає близько 19 тис. вагонів на добу, однак 82% з них завантажують у середньому за добу менше 10 вагонів, з них 35% – менше 5 вагонів [94, 96].

У 2019 р. найбільші обсяги навантаження зафіксовані по станціям Прилуки (7305 ваг.), Балин (6432 ваг.), Миргород (5807 ваг.). Середньодобове навантаження зерна у 2019 р. склало близько 1600 вагонів (табл. 2.6) [25, 92].

Таблиця 2.6 – Найбільші станції навантаження зерна у 2019 р.

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

Для обробки насипних зернових вантажів, що доставляються залізницею до портів, функціонує 40 припортових станцій, з яких 34 використовуються для обробки експортних партій призначенням в морські порти. Найбільшими за обсягами вивантаження зерна у 2019 р. є припортові станції Чорноморська (для ТІС) – 7426 тис. т., Одеса-Порт – 6882 тис. т., Чорноморськ-порт – 6096 тис. т., Миколаїв-Вантажний – 4859 тис. т., Жовтнева – 4141 тис. т., на них припадає до 80% усіх зернових вантажів, що надходять залізницею у порти на експорт [92].

До переваг залізничних перевезень зернових вантажів варто віднести:

- можливість здійснення перевезень протягом цілого року та незалежно від погодних умов;
- незалежність від якості автомобільних доріг, і відповідно збереження від руйнування автодорожньої інфраструктури, що має місце при автомобільних перевезеннях зерна;
- незалежність від імпортних нафтопродуктів, оскільки майже 90% залізничних перевезень, зокрема до портів Одеського регіону, здійснюється з використанням електричної тяги, що генерується українськими електростанціями;
- вища екологічність перевезень, у порівнянні з автотранспортом;
- нижча вартість перевезень, у порівнянні з доставкою автомобілями.

До основних недоліків залізничного транспорту можна віднести:

- відсутність залізничної інфраструктури у частини елеваторів;
- неможливість виконання перевезення «від дверей до дверей»;
- більші строки виконання перевезення, у порівнянні з автотранспортом;
- більш складна процедура організації та документального оформлення перевезення, залежність відправників від монополіста ринку – Укрзалізниці;
- менша схоронність вантажу, в першу чергу, через крадіжки.

2.4.4 Проблеми залізничних перевезень зернових вантажів на експорт

Як, зазначалось, залізничний транспорт є основним перевізником українського зерна у морські порти на експорт. Однак, як показує аналіз, існуючі умови організації залізничних перевезень зерна наразі часто демонструють свою неефективність, що призводить до зниження показників експлуатації рухомого складу та, у підсумку, до зростання транспортної складової у кінцевій вартості зерна, і відповідно до зниження його конкурентності на зовнішніх ринках [68, 97].

До основних проблем залізничних перевезень зерна слід віднести [98]:

- недостатню пропускну здатність ділянок на підходах до портів;
- відсутність як на припортових станціях, так і безпосередньо в портах залізничної інфраструктури, достатньої для прийому і швидкого обслуговування великої кількості вагонів із зерном у пікові періоди;
- дефіцит та зношеність рухомого складу, в першу чергу, тягового;
- низька навантажувальна спроможність переважної більшості станцій;
- недостатній рівень маршрутизації та неефективна система її планування;
- закриття малодіяльних станцій для вантажної роботи.

Протягом останніх років суттєвою проблемою залізничних перевезень зерна був дефіцит рухомого складу – вагонів-зерновозів. Так, у 2011 р. у власності Укрзалізниці нараховувалось всього 11485 зерновозів (з них придатних до експлуатації лише 8650) та ще 731 вагон перебував у власності ДП «Стрийський вагоноремонтний завод» [95]. При цьому середньодобовий дефіцит зерновозів у пікові періоди навантаження (серпень-грудень) досягав 1000 вагонів [68, 69]. Однак, починаючи з 2017 р. парк зерновозів почав стрімко збільшуватись і у 2019 р. складав 28 тис. од., з яких 11,5 тис. належать підприємствам УЗ, а 16,5 тис. – у власності приватних компаній (рис. 2.12) [45, 105].

Збільшення кількості зерновозів обумовлено, в першу чергу, зростанням приватного парку, оскільки в планах Укрзалізниці відсутні інвестиції у придбання нових зерновозів (в основному закуповуються нові піввагони), а останній раз поповнення парку зерновозів УЗ відбулось у 1993 р.

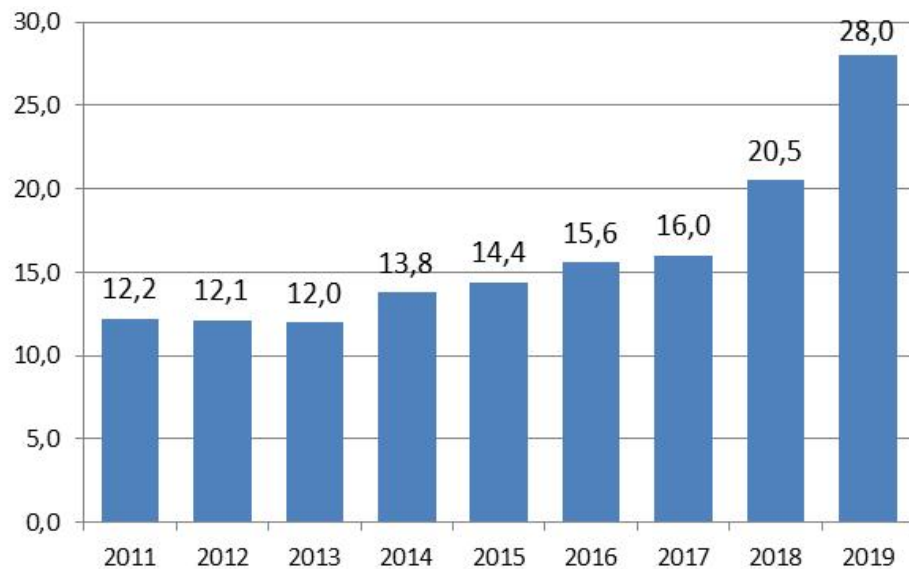


Рисунок 2.12 – Динаміка зміни парку українських вагонів-зерновозів

Найбільшими ж власниками приватних зерновозів є «Кернел Трейд + РТК-Україна» (3,5 тис.), «Смарт РейлЛогистик» (2,4 тис.), «ОТП Лізинг» (0,9 тис.), «МТК» (0,65 тис.) [99]. До 2018 р. в основному куплялись вагони, що вже були в експлуатації (зокрема, в сусідніх країнах), частина переобладнувалась з мінераловозів. Тільки у 2018...2019 р.р. ситуація з оновленням парку зерновозів трохи покращилась – за цей період приватними компаніями було придбано близько 10 тис. вагонів, з яких 60% – нових. Однією з причин цього стало прийняття у 2018 р. поправок до Бюджетного кодексу, що передбачає державну компенсацію при придбанні нової сільськогосподарської техніки українського виробництва, зокрема і вагонів-зерновозів [100, 101].

Незважаючи на зростання інвентарного парку зерновозів, суттєвою проблемою залишається значний рівень їх зношеності. При нормативному терміні експлуатації вагонів-хопперів 30 років близько 86% зерновозів парку Укрзалізниці вже працюють з подовженим строком експлуатації, а для іншої частини термін експлуатації скінчиться у найближчі роки (рис. 2.13). При цьому середній термін експлуатації зерновоза інвентарного парку УЗ складає 35,5 років [102].

Приватний парк зерновозів новіший, проте загальна кількість вагонів з терміном експлуатації до 10 років становить не більше 10% в загальному парку. Загальний же «вік», українського зерновозу становить 27...29 років [69, 103].

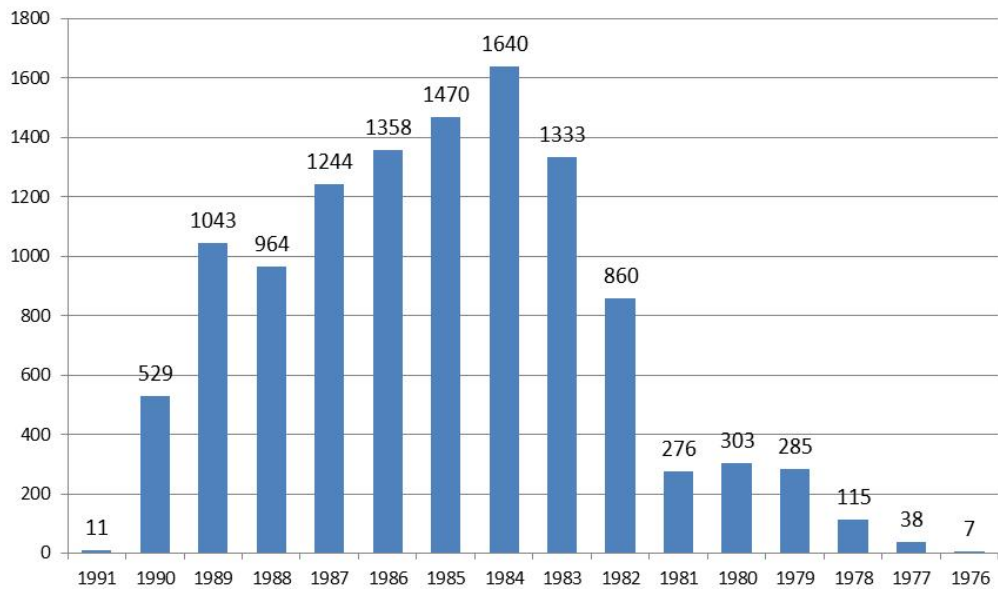


Рисунок 2.13 – Структура парку зерновозів власності Укрзалізниці по рокам випуску

За експертними оцінками в найближчі роки списанню підлягає до 2 тис. зерновозів щорічно, тому при відсутності суттєвого оновлення парку до 2025. дефіцит може досягти 10...12 тис. вагонів [100, 104, 105]. Використання ж вагонів з продовженим терміном експлуатації призводить до збільшення експлуатаційних витрат на їх утримання, а також до збільшення ризиків транспортних пригод. Варто відзначити, що в багатьох сусідніх державах (Білорусь, Казахстан, Росія) заборонено експлуатувати вагони після вичерпання нормативного терміну і продовжувати терміни експлуатації.

Незважаючи на зростання парку зерновозів проблема їх дефіциту до кінця не вирішена. Впроваджена УЗ автоматизована система розподілу порожніх вагонів, що мала на меті надавати рухомий склад пропорційно до замовлень відправників продемонструвала свою недосконалість, зокрема надаючи переваги відправникам у південних (ближчих до портів) областях та маршрутним відправленням. Це призвело до частих випадків дисбалансу у вільному рухомому складі, невиконанні Укрзалізницею замовлень на порожні вагони, зриву планів на відвантаження зерна, і відповідно до зростання витрат відправників. Як наслідок, завищення відправниками замовлень на порожні вагони, що також вносить труднощі у розподіл рухомого складу та знижує ефективність його експлуатації [7, 106].

Критичною наразі проблемою є суттєва зношеність тягового рухомого складу, яка сягає більше 90% [33]. Відсутність локомотивів призводить до значного зростання простоїв на станціях готових до відправлення составів, погіршення експлуатаційних показників вагонного парку, зростання собівартості перевезень тощо. В умовах обмежених можливостей Укрзалізниці щодо оновлення парку локомотивів, одним з можливих вирішень даної проблеми є допуск до магістральної інфраструктури залізниць приватних перевізників з власним тяговим рухомим складом [107].

Не менш гострою є проблема, пов'язана з недостатнім розвитком припортової залізничної інфраструктури. В даний час економіка України орієнтована переважно на експорт сировини, який здійснюється через морські порти, в той час як інфраструктура припортових станцій формувалась за часів СРСР і була орієнтована на імпорту. Додаткові проблеми пов'язані зі змінами структури вантажопотоків, що відбулися після 2014 р: в умовах зростання обсягів перевалки зернових припортові станції змушені переробляти додаткові вагонопотоки імпортованого вугілля, а також експортні вантажопотоки залізничної сировини, що утворився після зменшення обсягів виробництва металу підприємствами Донецької та Луганської області [95]. Так, при максимальній потужності вивантаження в морських портах близько 2 тис. вагонів на добу, фактично вивантажується до 1 тис., що призводить до суттєвих затримок рухомого складу у портах та на припортових станціях – інколи до 10...12 діб [108, 109].

Однією з основних проблем, що виникають при організації залізничного перевезення зерна від лінійного елеватора в пункт перевалки (порт), є низька навантажувальна потужність елеваторів, яка в більшості випадків становить не більше 10...12 вагонів на добу. Така ситуація в сукупності зі значною розпорощеністю станцій навантаження зерна призводить до неможливості для переважної більшості станцій відвантажувати зернові вантажі відправницькими маршрутами. Так, при середньому рівні відправницької маршрутизації по Укрзалізниці 45...50%, маршрутизація перевезення зерна у до недавнього часу становила всього близько 10...15% (для порівняння, у США рівень маршрутизації зернових вантажів досягає 95%) [110].

При організації ж перевезення зерна вагонними відправками істотно погіршуються показники експлуатації вагонного парку зерновозів, в першу чергу, збільшується обіг вагона, що веде до збільшення необхідного робочого парку зерновозів. При цьому, як показав аналіз, тільки 17% часу обігу зерновоз знаходиться безпосередньо в русі, а близько 42% – займає його простій на технічних станціях, зокрема для переформування составів [68].

Починаючи з 2017 р. Укрзалізниця почала активно впроваджувати маршрутизацію перевезення зерна, забезпечуючи виконання замовлень на рухомий склад, в першу чергу, для відправників маршрутів. Це обмежило доступ до навантажувальних ресурсів невеликим агрокомпаніям та змусило їх переорієнтовуватись на автотранспорт. Більше того, Укрзалізниця оголосила плани щодо закриття для вантажної роботи 177 малодіяльних станцій, з яких 60 планується закрити повністю, а інші – відкривати для роботи тільки у пікові періоди року [111, 112]. Однак, з 528 станцій повноцінно завантажувати зернові маршрути можуть тільки близько 70...80, тобто лише 15% (в основному це станції Південно-Західної та Південної залізниці). Проте до маршрутизації можуть відкриватись і інші станції, якщо відправник гарантує забезпечення відповідних обсягів навантаження [109, 111, 113]. Для станцій з порівняно великими обсягами навантаження зерна, інфраструктура яких є недостатньою для формування відправницьких маршрутів, в деяких випадках ефективно формувати ступінчаті маршрути на одній із технічних станцій, куди вагони з зерном з вантажних станцій можуть надходити у складі передаточних чи збірних поїздів [114]. Варто зазначити, що половина маршрутів, які формує Укрзалізниця фактично є ступінчатими, а фактичний рівень відправницької маршрутизації зернових вантажів складає близько 30% [115].

Разом з тим, глобальне впровадження Укрзалізницею маршрутизації без врахування можливостей та інтересів усіх відправників призвело, з одного боку, до переходу частини відправників на автотранспорт, з іншого – до погіршення експлуатаційних показників використання рухомого складу. Так, за останні 8 років обіг вагона-зерновоза виріс майже удвічі і у 2019 р. досяг рівня 14 діб (рис. 2.14) , [92, 108, 111, 116].

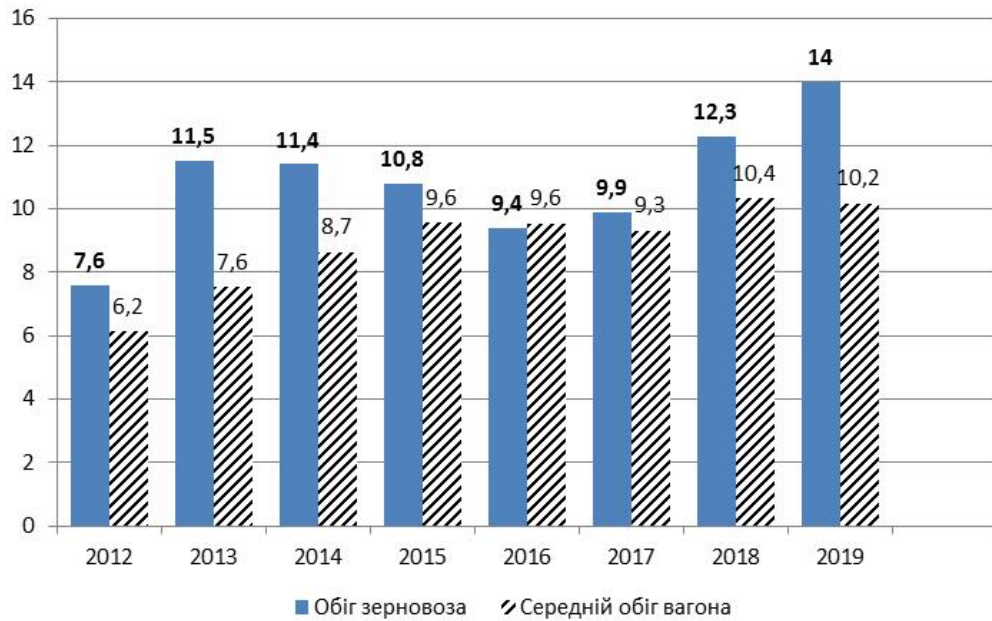


Рисунок 2.14 – Обіг вагона зерновоза та середній обіг вагона мережі, діб

При цьому обіг зерновоза, перевищує середній обіг вагона мережі у середньому на 20...25%. Більше того, при нормативній швидкості доставки вантажів повагонними відправками 200 км/добу, а маршрутними – 320 км/добу [29] середньодобова швидкість просування вагонів-зерновозів складає наразі 80...90 км/добу для повагонних та 120...160 км/добу для маршрутних відправок [117].

Зростання ж парку зерновозів через падіння швидкості руху призвело до додаткового навантаження на залізничну мережу та зменшення її пропускної здатності, результатом чого є збільшення кількості «покинутих» поїздів та відповідно до зростання непродуктивних простоїв вагонів та погіршення показників їх експлуатації. Зокрема, річна продуктивність вагона-зерновоза (тут мається на увазі кількість перевезеного вантажу за рік) у порівнянні з 2012 р. зменшилась на 34% (рис. 2.15), що також свідчить про неефективність існуючої системи експлуатації зерновозів.

Разом з тим, саме відправницька маршрутизація є найбільш ефективною технологією перевезень масових вантажів, до яких безперечно належать зернові вантажів. Однак, ефективне планування маршрутизації та визначення станцій та районів концентрації навантаження зерна потребує виконання комплексу досліджень з використанням системного підходу та сучасних наукових методів [118].

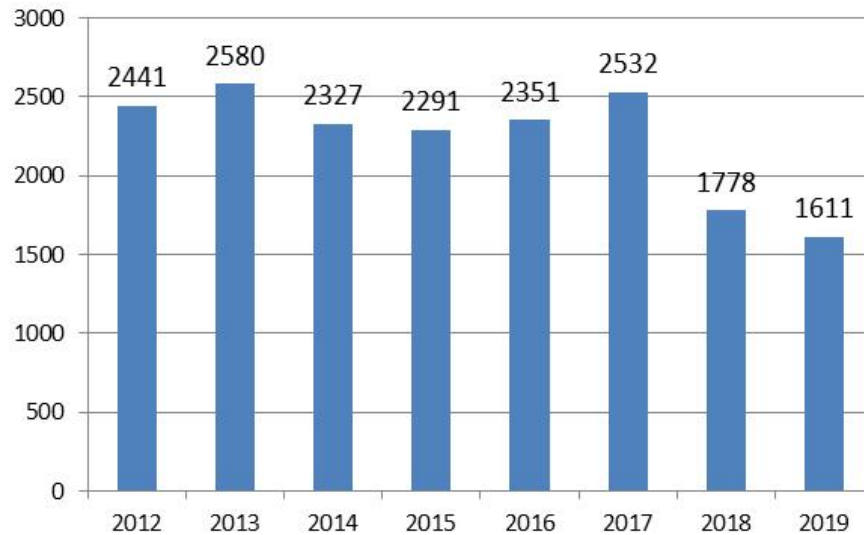


Рисунок 2.15 – Середній річний обсяг перевезення вантажу вагоном-зерновозом, т/рік

2.5 Дослідження вагонопотоків з зерновими вантажами

Для оцінки заходів, спрямованих на удосконалення залізничних перевезень українського зерна в морські порти на експорт, необхідно визначити параметри вагонопотоків з зерном при організації перевезень повагонними відправками. З цією метою в дисертації був виконаний аналіз даних АСК ВП УЗ-Є про експортні перевезення зерна за 2016 рік [68, 110].

2.5.1 Аналіз нерівномірності перевезень зерна

Аналіз статистичних даних про перевезення зернових вантажів залізничним транспортом [4] показує, що для цих перевезень характерна істотна сезонна нерівномірність. Внутрішньо річна (сезонна) нерівномірність обсягів перевезень розраховується за формулою:

$$K_{\text{нер}}^{\text{річ}} = \frac{\overline{Q_{\text{max}}^{\text{міс}}}}{\overline{Q_{\text{річ}}}} \cdot 12, \quad (2.2)$$

де $\overline{Q_{\text{max}}^{\text{міс}}}$ – максимальні середньомісячні обсяги перевезень;

$\overline{Q_{\text{річ}}}$ – середньорічні річні обсяги перевезень.

За період 2002...2019 р.р. найбільша нерівномірність перевезення зерна протягом року спостерігалася в 2006 р., коли коефіцієнт нерівномірності становив 1,96; найменша – у 2019 р. коли нерівномірність становила 1,18 (рис. 2.16).

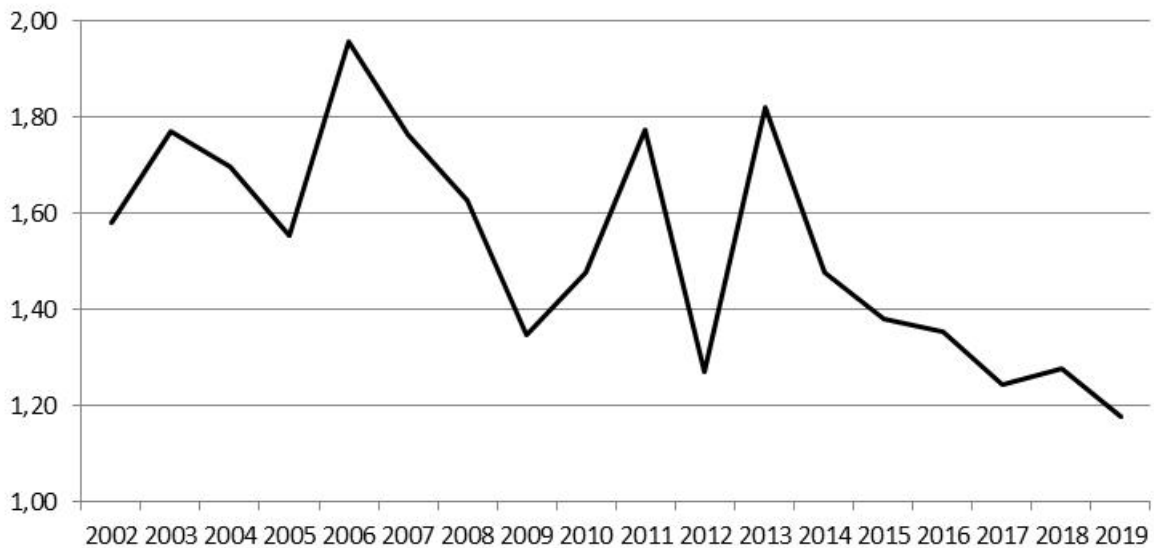


Рисунок 2.16 – Динаміка зміни коефіцієнту сезонної нерівномірності обсягів залізничних перевезень зернових вантажів

Як видно з рис. 2.16, в останні роки сезонна нерівномірність демонструє тенденцію до зменшення, що пов'язано зі збільшенням обсягів залізничних перевезень зерна і з більш рівномірним їх виконанням протягом року. Для прикладу, на рис. 2.17 наведено графік зміни обсягів перевезення зерна залізницями України у 2019 р. (коефіцієнт сезонної нерівномірності 1,18) та у 2013 р. (1,82).

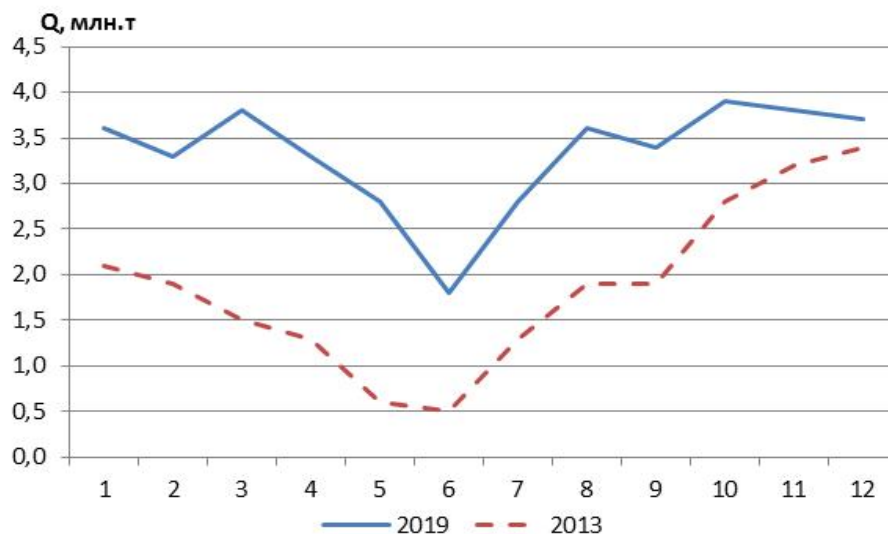


Рисунок 2.17 – Місячні обсяги залізничних перевезень зерна

Мінімальні обсяги перевезень зернових залізничним транспортом виконуються в червні-липні, коли урожай попереднього року вже вивезено, а урожай поточного року ще не зібраний, а також в період новорічних свят (перша половина січня); максимальні ж обсяги перевезень зернових спостерігаються у вересні-грудні при вивезенні нового врожаю.

Для оцінки добової нерівномірності були проаналізовані дані АСК ВП УЗ-Є про навантаження зерна по залізничним станціям у 2016 р (Додаток В). Загальні обсяги добового навантаження зерна по станціям наведено на рис. 2.18.

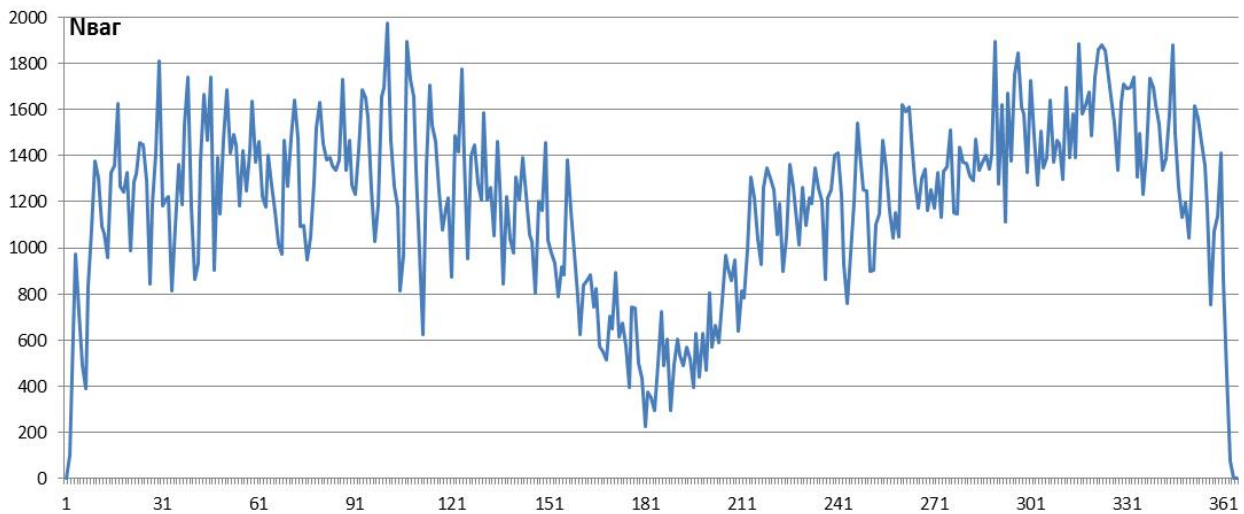


Рисунок 2.18 – Загальні добові обсяги навантаження зерна по станціям

Добові (внутрішньо місячні) коливання обсягів навантаження зерна вищі ніж сезонні; на це впливає цілий ряд факторів, серед яких нерівномірність подачі вагонів під навантаження, технічні та технологічні перерви в роботі елеваторів, ремонтні роботи на залізниці, зменшення обсягів роботи у вихідні та святкові дні тощо [119]. Добова (внутрішньо місячна) нерівномірність розраховується за формулою:

$$K_{\text{нер}}^{\text{доб}} = \frac{\overline{Q_{\text{max}}^{\text{доб}}}}{\overline{Q_{\text{міс}}}} \cdot 12, \quad (2.3)$$

де $\overline{Q_{\text{max}}^{\text{доб}}}$ – максимальні середньодобові обсяги перевезень у певний місяць;

$\overline{Q_{\text{міс}}}$ – середньодобові обсяги перевезень у певний місяць.

Як показали дослідження вагопотоків з зерном, добова нерівномірність навантаження зерна коливається в межах 1,15 (у листопаді) – 1,94 (у червні), що пов'язано відповідно із зростанням та зменшенням обсягів перевезень (рис. 2.19).

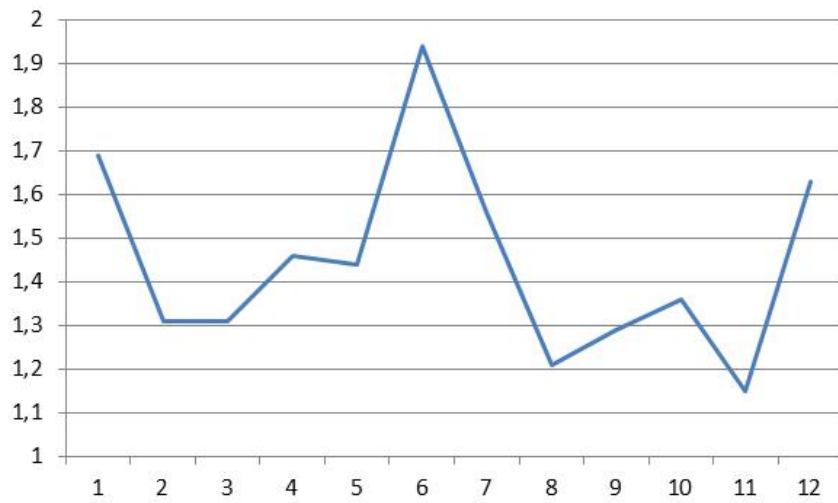


Рисунок 2.19 – Динаміка зміни коефіцієнту добової нерівномірності обсягів залізничних перевезень зернових вантажів по місяцям 2016 р.

Навантаження зерна здійснюється практично по всій території країни. При цьому вітчизняна залізнична мережа характеризується розпиленням навантаження зерна по великій кількості залізничних станцій. Так, у 2016 р. навантаження зерна здійснювали 572 станцій (у 2018 р. – 528). На основі статистичної обробки даних про обсяги роботи станцій (Додаток В) побудована гістограма розподілу середньодобових обсягів навантаження (рис. 2.20).

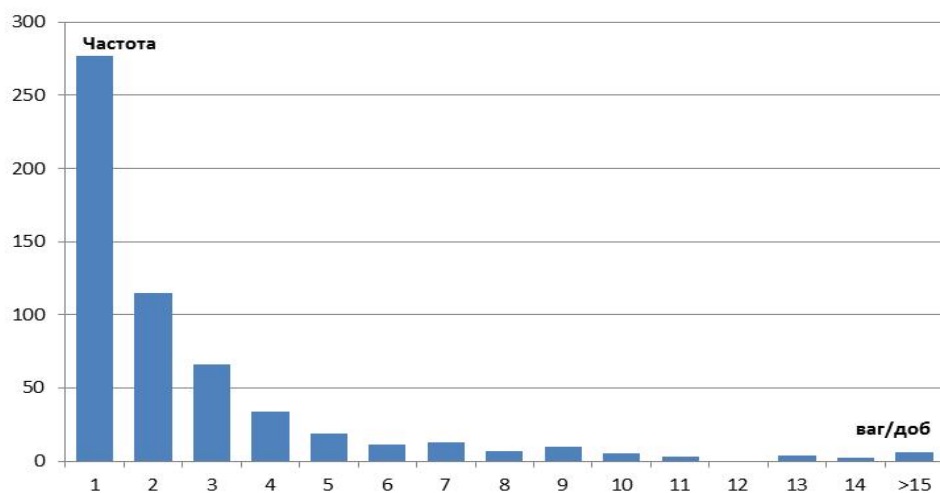


Рисунок 2.20 – Гістограма середньодобової кількості вагонів, що навантажені на станціях

Аналіз гістограми (рис. 2.20) показує, що середньодобове навантаження майже половини станцій (47%) становить менше 1 вагона на добу (рис. 2.21, а). Окрім того, аналіз статистичних даних показує, що тільки 29 станцій (5%) здійснюють навантаження зерна загалом протягом більше половини року, а 208 станцій (36%) навантажують зерно загалом протягом не більше одного місяця, зокрема 86 з них (15%) – не більше 10 днів протягом року (рис. 2.21, б).

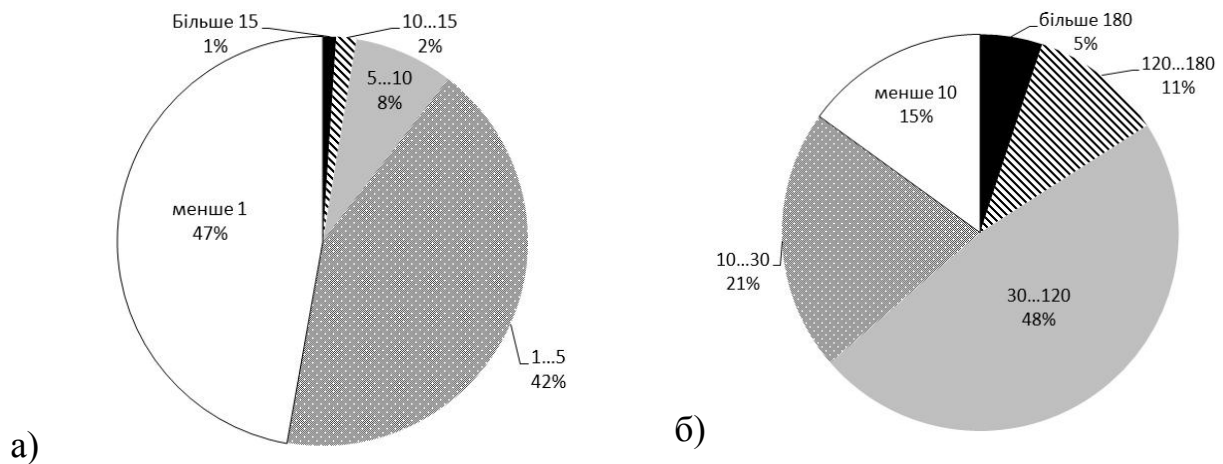


Рисунок 2.21– Розподіл станцій навантаження зерна: а) за обсягами середньодобового навантаження, ваг; б) за періодами навантаження протягом року, днів.

Найбільше середньодобове навантаження (з врахуванням лише днів з ненульовим навантаженням) зафіксоване по станціям Сула Південної залізниці – 39,9 ваг, Торопилівка Південної залізниці – 35,3 ваг., Прилуки – 33,4 ваг.

Обсяги навантаження по окремих станціям демонструють значно вищу нерівномірність, як сезонну, так і добову (Додаток В). Так, на рис. 2.22 наведено обсяги добового навантаження у 2016 р. по станції Прилуки (річний обсяг навантаження 8576 ваг); при цьому коефіцієнт сезонної нерівномірності склав 1,6.

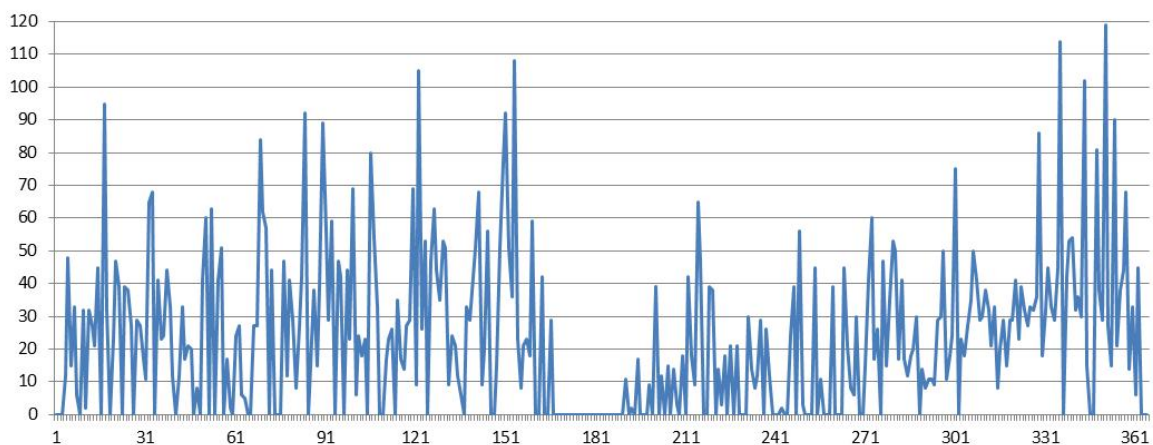


Рисунок 2.22 – Добові обсяги навантаження зерна по станції Прилуки

Добові ж обсяги навантаження по окремим станціям коливаються в досить широких межах. Так, для станції Прилуки найбільші коливання обсягів добового навантаження (рис. 2.23) спостерігались у червні-липні (коефіцієнти нерівномірності відповідно 8,83 та 6,51), а найменші – у листопаді (2,54) та лютому (2,83).

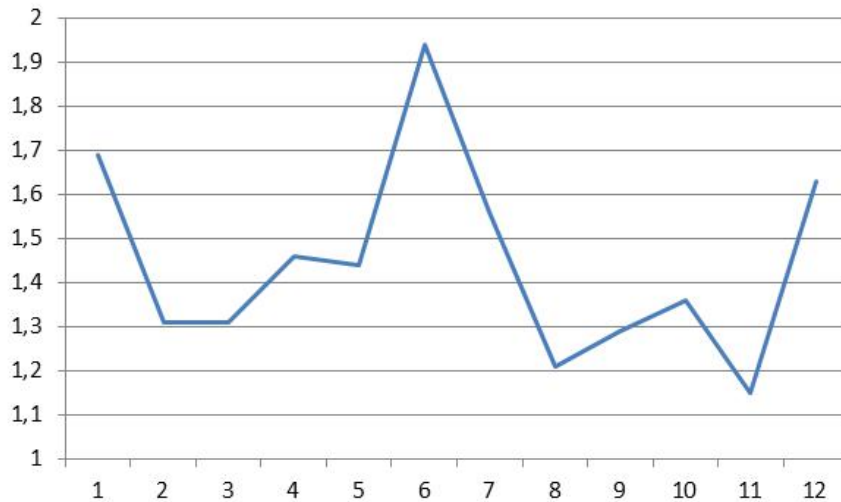


Рисунок 2.23 – Динаміка зміни коефіцієнту добової нерівномірності обсягів навантаження зерна по станції Прилуки по місяцям 2016 р.

Очевидно, що статистичні дані про обсяги добового навантаження зерна по окремим станціям по суті представляють собою часові ряди. При аналізі і прогнозуванні поведінки часових рядів важливо виявити наявність або відсутність стійких тенденцій (трендів) або циклічності в їхньому розвитку, на підставі чого можна приймати рішення про застосування того чи іншого методу прогнозування. Однією з важливих властивостей часових рядів є персистентність, тобто схильність ряду слідувати певним трендам до збільшення або зменшення значень. При цьому прогнозування такого ряду може бути виконано за допомогою методів авторегресійного аналізу по знайденому функціоналу тренда. Прогнозування антиперсистентних часових рядів виконується з використанням методів математичної статистики і теорії ймовірностей.

Персистентність часового ряду можна визначити за допомогою показника Херста H , який розраховується на основі методів RS -аналізу. При цьому значення показника Херста в межах $0 \leq H < 0,5$ свідчить про те, що часовий ряд є антиперсистентним (нестійким); значення в межах $0,5 < H \leq 1$ свідчить про пер-

систентність (трендостійкість) ряду; при $H = 0,5$ часовий ряд абсолютно випадковий і відповідає звичайному білому гаусівському шуму [120].

На основі методів *RS*-аналізу для часових рядів, що характеризують обсяги навантаження по ряду основних зернових станцій, встановлено, що відповідні показники Херста знаходяться в межах 0,18 (Прилуки) до 0,32 (Торопилівка). По станціям, що характеризуються відносно невеликими обсягами навантаження зерна відповідні коефіцієнти Херста знаходяться в межах 0,35...0,45. Таким чином, часові ряди зміни обсягів навантаження зерна на станціях є антиперсистентними. Персистентні ряди характерні, в першу чергу, для станцій, які стабільно нарощують або знижують обсяги навантаження вантажів.

Аналіз обсягів навантаження по декадним періодам показав, що їм також властива антиперсистентність, однак коефіцієнти Херста при цьому ближчі до нуля. Це свідчить, що після зниження обсягів навантаження в попередній декаді в наступній декаді з великою ймовірністю слід очікувати збільшення обсягів, тобто про стійкість коливань обсягів навантаження [121].

З огляду на випадковий характер навантаження зерна для прогнозування обсягів доцільно встановити закони розподілу випадкової величини добового навантаження. Дослідження показують, що розподіл добових коливань вагонопотоків практично у всьому діапазоні коливання навантажень може описуватися нормальним законом розподілу. З врахуванням нормального розподілу можна визначати розрахункові обсяги навантаження N_p на певний період; при цьому доцільно використовувати обернену функцію Лапласа, яка дозволяє отримати значення N_p , яке не буде перевищене з ймовірністю P (у технічних розрахунках зазвичай 0,95) [122]:

$$N_p = N_{\text{серед}} + \sigma \cdot t_p \quad (2.4)$$

$$t_p = \Phi'(P - 0,5), \quad (2.5)$$

де Φ' – обернена функція Лапласа [123];

$N_{\text{серед}}$ – середні обсяги навантаження за період;

σ – середнє квадратичне відхилення випадкової величини обсягів навантаження.

2.5.2 Визначення характеристик вагопотоків з зерновими вантажами

Обсяги навантаження зернових для перевезень залізничним транспортом залежать від різних факторів – обсягів виробництва зерна, внутрішніх обсягів споживання зерна, умов конкуренції з іншими видами транспорту – і відповідно суттєво відрізняються по областях України (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Характеристика системи залізничних перевезень зерна по областям у 2016 р.

Область	Навантажено, ваг/рік	Кількість станцій	У середньому на 1 станцію, ваг/рік	Середня відстань перевезення у порт, км
Вінницька	36755	35	1050,1	462,9
Волинська	3635	10	363,5	858,1
Дніпропетровська	11483	45	255,2	516,7
Донецька	5158	15	343,9	671,5
Житомирська	9968	17	586,3	612,3
Закарпатська	275	5	55,0	1047,9
Запорізька	5283	27	195,7	479
Івано-Франківська	1115	6	185,8	810,4
Київська	23906	28	853,8	567,9
Кіровоградська	28135	34	827,5	353
Луганська	11116	9	1235,2	851,5
Львівська	3830	19	201,6	813,2
Миколаївська	5455	17	320,9	307,8
Одеська	18771	32	586,6	223,4
Полтавська	67747	47	1441,4	549,1
Рівненська	3485	12	290,4	790,4
Сумська	34218	29	1179,9	765,6
Тернопільська	10937	23	475,5	677,6
Харківська	33016	61	541,2	752,8
Херсонська	2789	9	309,9	310,9
Хмельницька	31146	33	943,8	661,3
Черкаська	49033	24	2043,0	461
Чернігівська	35391	26	1361,2	608,2
Чернівецька	2179	9	242,1	786,5
По Україні	434823	572	760,2	568,1

Найбільші обсяги навантаження зернових на експорт при цьому у 2016 р. зафіксовані у Полтавській та Черкаській областях Найбільша концентрація навантаження зернових спостерігалась у Черкаській області, де на одну станцію припа-

дає у середньому 2043 вагонів у рік, для порівняння, у Харківській – 541,2 ваг/рік, а у Дніпропетровській – 255,2 ваг/рік. У середньому ж по Україні цей показник склав 760,2 вагонів на одну станцію у рік.

Аналіз даних, наведених в табл. 2.7 показує, що для різних областей України умови перевезення зерна в порти істотно відрізняються. Так, відстань перевезення зерна з Харківської та Сумської областей на 200-300 км більше, ніж відстань перевезення, відповідно, з Полтавської і Черкаської областей. На основі статистичної обробки даних про рух зерновозів на експорт була побудована відповідна гістограма розподілу (рис. 2.24); при цьому середня відстань перевезення зерна на експорт у 2016 р. склала 568,1 км.

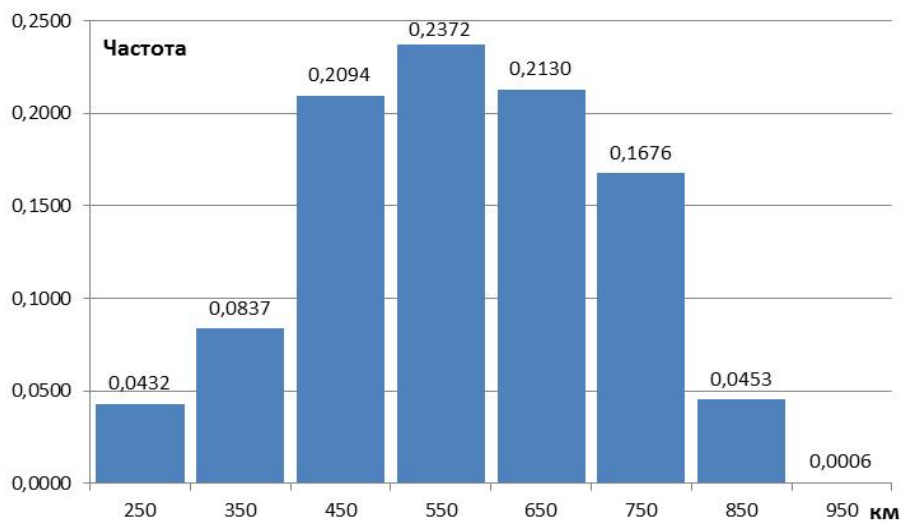


Рисунок 2.24 – Гістограма розподілу випадкової величини відстані перевезення зерна на експорт

Середня швидкість руху завантажених вагонів-зерновозів від станції відправлення до станції призначення склала 198 км/доб, а порожніх – 311 км/доб; дільнична швидкість руху зерновозів склала 35,6 км/год, що на 6,7% нижче дільничної швидкості в цілому на мережі, яка у 2016 р. склала 38,3 км/год [88].

Однією з основних характеристик ефективності використання зерновозів є їх обіг. На основі даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонів з зерновими вантажами в 2016 р. були визначені значення тривалості перебування зерновозів як в порожньому, так і завантаженому рейсах, при прямуванні до основних припортовим станціям. Отримані значення наведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Обіг зерновозів при перевезенні зерна у порти

Припортова станція	Навантаж., год.	Простій завантаж., год.	Рух завантаж., год.	Вивантаж., год.	Простій порожн., год.	Рух порожн., год.	Обіг, год.
Одеса-Порт	45,9	75,5	25,1	32,8	30,2	21,9	231,4
Чорноморська (ТІС)	47,3	45,7	25,2	37,8	33,0	22,7	211,7
Чорноморськ	43,2	83,3	25,1	38,8	34,3	23,1	247,8
Ксенієве	62,9	51,9	26,5	37,4	48,4	27,2	254,3
Миколаїв-Вантажний	45,9	46,5	24,9	37,4	34,2	23,8	212,7
Жовтнева	41,0	46,7	23,7	45,2	29,2	22,2	208,0
Херсон-Порт	50,1	55,6	27,6	29,3	44,6	24,4	231,6
Середнє по Україні	48,0	58,8	22,3	37,5	35,6	21,6	223,8

Отримані дані показують, що середній оборот зерновозів, що слідували на адресу припортових станцій, в 2016 р. становив близько 9,4 доби. Таким чином середньорічний обсяг перевезення одним вагоном (за умови його постійного використання протягом року) складає 2524 т, а з врахуванням середньої відстані перевезення зерна 568,1 км – добова продуктивність складе 3928 т-км.

Розподіл обігу зерновоза по елементам наведено на рис. 2.25.

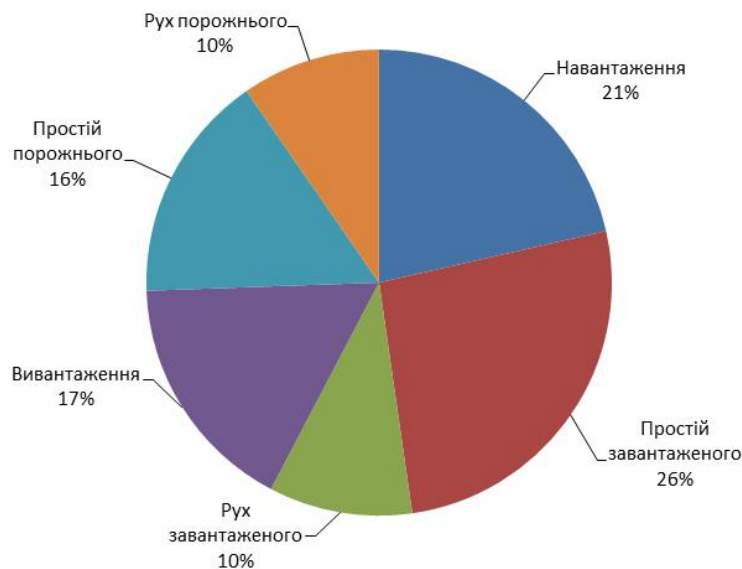


Рисунок 2.25 – Поелементний аналіз обігу зерновоза

Аналіз показує, що знаходження вагонів у русі складає всього 19,6% від величини обігу, простої під вантажними операціями – 38,2%, а простої на технічних станціях – 42,2%. Це свідчить про недосконалість існуючої системи організації перевезення зернових вантажів на експорт та про значні резерви скорочення обігу вагонів та покращення показників експлуатації рухомого складу.

2.6 Висновки за розділом 2

1. Система, яка забезпечує експорт зерна через морські порти включає: систему зберігання, систему перевалки зерна в портах і систему транспортування зерна до портів.

2. Система зберігання зерна представлена в Україні близько 1200 елеваторами, загальною потужністю одночасного зберігання 48 млн. т. Щороку приватні компанії будують або модернізують близько 40...50 елеваторів, а темпи введення нових елеваторних потужностей складають 1...1,5 млн. т. на рік. В цілому ж наявна елеваторна інфраструктура забезпечує існуючі обсяги виробництва зерна, а динаміка розвитку потужностей лінійних елеваторів, дає підстави позитивно оцінювати можливості по освоєнню перспективних обсягів.

3. Більше 90% українського експорту зернових відвантажується через морські порти. Перевалку зерна в 13 портах здійснюють близько 30 терміналів, загальною потужністю 85 млн. т., що повністю забезпечує наявні та перспективні обсяги експорту зернових. Портова термінальна інфраструктура для перевалки зерна потужно розвивається, компанії вважають будівництво терміналів у портах привабливим напрямком для інвестицій, і до 2020 р. потужність перевалки зерна в портах планується довести до рівня 90 млн. т.

4. Доставка зерна від виробників у порти здійснюється залізничним, автомобільним та річковим транспортом. Близько 30% всього експортного зерна доставляється в порти автомобілями. Однак, забезпечуючи гнучкість та зручність транспортування для клієнтів, в першу чергу невеликих партій на короткі відстані, тарифи на послуги автотранспорту є найвищими, якість припортових автодоріг є низькою, а їх пропускна здатність недостатньою. Річкові перевезення мають найнижчу собівартість, однак нерозвинена портова інфраструктура та дефіцит суден наразі не дозволяють повністю використовувати потенціал річкового транспорту, частка якого у перевезенні зерна складає близько 1...3%.

5. Основним перевізником, що забезпечує доставку майже 70% експортного зерна, є залізничний транспорт. Зерно складає 12% від загальних обсягів вантажних залізничних перевезень та 30% від обсягів експортних перевезень залізницею. Система залізничних перевезень зерна характеризується значною

розпорошеністю – навантаження зерна здійснюють 528 станції, однак половина з них завантажують менше 1 вагона на добу. Вивантаження експортного зерна здійснюють 34 припортових станції.

6. Як показує аналіз, існуючі умови організації залізничних перевезень наразі часто демонструють свою неефективність, що призводить до зниження показників використання рухомого складу та до зростання витрат на транспортування зерна. Серед основних причин – зношеність вагонів-зерновозів (середній вік – 27...29 років) та недосконала система оперування ними (при зростанні парку зерновозів до 28 тис. та широкому впровадженні маршрутизації обіг у 2019 р. виріс 14 доб., а продуктивність знизилась на 30%), дефіцит локомотивної тяги (зношеність локомотивів – більше 90%), недостатня пропускна здатність припортової залізничної інфраструктури.

7. Перевезення зерна характеризуються значною як сезонною, так внутрішньо місячною нерівномірністю. Дослідження параметрів вагонопотоків з зерном показали, що сезонна (річна) нерівномірність в останні роки знижується та коливається в межах 1,2...1,3, а добова нерівномірність навантаження зерна коливається в межах 1,15 (у листопаді) – 1,94 (у червні). Обсяги навантаження зерна по окремим станціям демонструють значно вищу нерівномірність, як сезонну, так і добову, що потрібно враховувати при плануванні перевезень.

8. На основі статистичного аналізу даних АСКГВП УЗ-Є про рух зерновозів встановлені основні експлуатаційні параметри вагонопотоків з зерном: середня відстань перевезення – 568 км, середня швидкість руху завантажених вагонів – 198 км/доб, порожніх – 311 км/доб; дільнична швидкість руху – 35,6 км/год. Середній обіг зерновоза – 9,4 доб; при цьому знаходження у русі склало лише 19,6%, а простої на технічних станціях – 42,2%.

9. Маршрутизація дозволяє скоротити терміни доставки, покращити показники експлуатації рухомого складу та відповідно пришвидшити окупність нового рухомого складу, зменшити собівартість залізничних перевезень. Однак, ефективне планування маршрутизації та визначення станцій навантаження маршрутів потребує виконання комплексу досліджень з використанням системного підходу та сучасних наукових методів.

РОЗДІЛ 3

МАРШРУТИЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ

3.1 Проблеми організації залізничних перевезень відправницькими маршрутами

Як вже зазначалось, однією з основних проблем при перевезеннях зерна на експорт залізничним транспортом є значна розпорошеність елеваторів та відповідно місць навантаження зерна; при цьому, як показали дослідження (див. п. 2.5), середньодобові обсяги навантаження на переважній кількості вантажних станцій фактично становлять менше 1 вагона. При цьому Укрзалізниця змушена або відмовляється роботи з такими станціями, або використовує повагонну технологію перевезень. У першому випадку це призводить до закриття вантажних станцій і до переходу значної частини відправників зерна на інші види транспорту, в першу чергу, на автотранспорт; у другому – до зниження показників експлуатації рухомого складу, збільшення строків доставки тощо. Так, як показав аналіз, виконаний експертами Центру транспортних стратегій у 2018 р., при повагонній відправці середньодобовий пробіг зернового склава склав 85,1 км, тобто у 2,3 рази менше за нормативну 200 км/доб [117].

Необхідно відзначити, що способи організації залізничних перевезень висувають об'єктивні вимоги до структури залізничної мережі [38]. Так, якщо відправлення вантажів на мережі здійснюється переважно вагонними відправками, то це вимагає розвитку технічного оснащення магістральних технічних станцій на мережі з метою оптимальної організації вагонопотоків. При цьому за рахунок концентрації управління пропускною спроможністю інфраструктури, парком локомотивів і вагонів можна досягти значного зниження середньої собівартості перевезення вантажів на мережі. Однак забезпечити інтерес приватних інвесторів до фінансування галузі при такій моделі досить важко так, як вплинути на собівартість перевезення для окремого вантажовідправника досить складно. Альтернативний варіант представляють залізничні мережі, орієнтовані на обертання відправницьких маршрутів. У цьому випадку за рахунок концентрації технічних

операцій на термінальних вантажних пунктах істотно спрощуються вимоги до оснащення залізничної мережі загального користування. З огляду на те, що зародження і погашення вантажопотоків переважно відбувається на коліях незагального користування, то при розвитку відправницької маршрутизації власники підприємств потенційно мають стимули до розвитку інфраструктури і маневрових засобів під'їзних колій з метою зниження собівартості перевезень.

Відповідно до «Правил обчислення термінів доставки вантажів» швидкість доставки вантажів маршрутними відправками складає 320 км на добу, а повагонними – 200 км на добу; розрахований термін доставки збільшується на 1 добу на операції, пов'язані з прийомом і відправленням вантажів [29]. Для відправника зерна у випадку маршрутної відправки зменшується не тільки нормативний термін доставки, а й плата за користування вагонами-зерновозами Укрзалізниці, яка на початку 2019 р. складала 1363 грн. за добу [124].

Як зазначалось, Укрзалізниця з 2018 р. активно впроваджує маршрутизацію перевезень, зокрема, і зернових вантажів, забезпечуючи, в першу, чергу вагонами та локомотивами маршрутні відправлення. При цьому інші (не маршрутні) відправлення зерна затримуються на тривалий час в очікуванні подачі та прибирання вагонів. Більше того, для таких не маршрутних (малодіяльних) станцій у 2019 р. введено додаткову плату за подачу та прибирання вагонів – близько 220 грн. за 1 км за вагон, що також спонукає відправників зерна до переходу на інші види транспорту. Разом з тим, кількість станцій, відкритих для маршрутних відправлень збільшено до 154, хоча за потенційними обсягами відправницькі маршрути можуть формувати 65...70 станцій [113, 125].

Окрім того, маршрутизацією охоплюється переважно завантажені вагонопотоки, а порожні прямують після вивантаження повагонними відправками (маршрутизовано близько 9% порожніх вагонопотоків [30]), що збільшує обіг вагону, та відповідно знижує ефективність експлуатації рухомого складу. Кільцеві маршрути в основному організовуються із вагонів приватного парку, при чому в останні роки зросла кількість компаній, що мають у власності парк вагонів, достатній для організації кільцевих маршрутів [99].

Варто зазначити, що організація перевезень відправницькими, зокрема, кільцевими маршрутами може потребувати додаткових інвестицій у розвиток відповідної інфраструктури, зокрема, колійної, у пунктах навантаження та вивантаження [39]. Так, за оцінками експертів інвестиції у модернізацію елеватора для виконання маршрутних відправок становлять близько 0,4...0,6 млн. USD при терміні окупності 3...5 років; при цьому 70% витрат припадає на розвиток залізничної інфраструктури [126]. Окрім того, можуть виникати додаткові експлуатаційні витрати, пов'язані з накопиченням маршрутного поїзда, як завантаженого, так і порожнього. Питання ж компенсації додаткових витрат вантажовідправнику у випадку організації ним маршрутних перевезень, наразі вирішує сам вантажовідправник за рахунок зменшення власних доходів або збільшення вартості вантажу. Разом з тим, для компенсації додаткових витрат вантажовідправникам, пов'язаних з формуванням відправницьких маршрутів, залізниці різних країн вводять диференціацію вантажних тарифів, або встановлюють знижки до тарифів. Так в Російській Федерації в Прейскуранті 10-01 [51] передбачені понижуючі коефіцієнти до вантажного тарифу, диференційовані в залежності від відстані перевезень і виду маршруту (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Коефіцієнти до тарифу для маршрутних відправок в РФ

Тип маршруту	Відстань перевезення, км			
	до 500	501...1000	1001...2000	понад 2000
Прямі	0,85	0,89	0,92	0,95
В розпорошення	0,90	0,92	0,95	0,97

З іншого боку, РЖД надає послуги вантажовідправникам щодо формування відправницьких маршрутів на власній інфраструктурі [127].

У США стимулювання вантажовідправників до формування відправницьких маршрутів також здійснюється за рахунок гнучкої тарифної політики. При цьому для вагонних, групових та маршрутних відправок встановлені різні тарифи. Наприклад, при перевезенні вугілля, руди, мінеральних добрив величина знижки при маршрутній відправці складає 20...40% у порівнянні з повагонними відправками. Ще більших значень (до 50%) досягають знижки при перевезенні зерна з використанням технології «shuttle train» маршрутами по 100...110 вагонів,

що рухаються за розкладом [110]. Для прикладу, на рис. 3.1. наведено динаміку зміни вартості перевезення зерна у США повагонними, груповими та маршрутними відправками [110, 128].

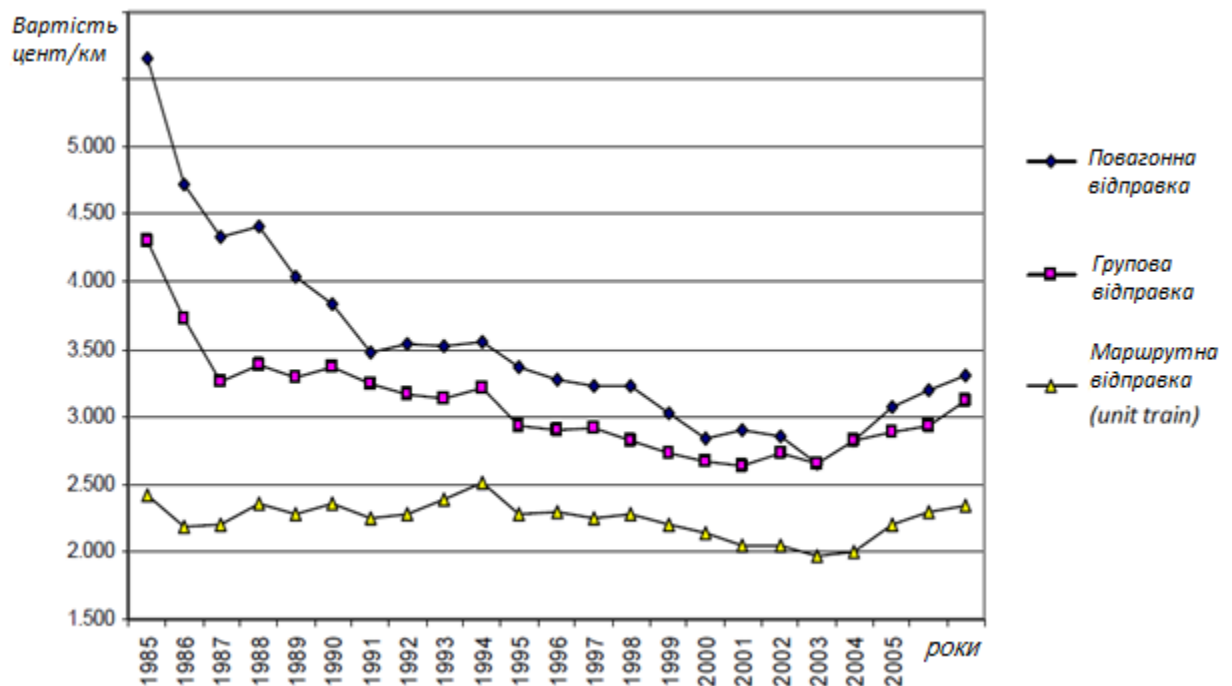


Рисунок 3.1 – Динаміка зміни вартості перевезень зерна у США

В Україні ж відповідно до положень «Збірника тарифів» під час перевезення вантажів маршрутами або групами вагонів за одним перевізним документом плата за перевезення визначається так само, як і за вагонну відправку [42]. Таким чином, в даний час тарифне стимулювання вантажовідправників до формування маршрутів не виконується, а Укрзалізниця поки тільки декларує впровадження 10% знижки для маршрутних перевезень [43]. Впровадження ж знижок на маршрутні залізничні перевезення дозволить вантажовідправникам зекономлені кошти інвестувати у розвиток залізничної інфраструктури елеваторів та оновлення рухомого складу.

Разом з тим існуючий вантажний тариф [42] містить оплату послуг, пов'язаних з перевезенням вагонів у збірних, вивізних, передавальних поїздах, а також послуги з переробки вагонів на технічних станціях, які не надаються при перевезенні вантажів маршрутами. Тобто, собівартість маршрутних перевезень

для Укрзалізниці є нижчою, у порівнянні з повагонними відправленнями. Тому тарифна політика Укрзалізниці, як перевізника-монополіста, має враховувати витрати відправників та отримувачів, що забезпечують економію для перевізника (Укрзалізниці) [30, 40].

3.2 Визначення витрат на перевезення зерна у морські порти

Основним конкурентом залізничного транспорту у сегменті перевезення зернових вантажів є автомобільний транспорт. Як показав аналіз (див. п. 2.4), обсяги автомобільних перевезень зернових вантажів в останні роки демонструють тенденцію до зростання – у 2018 р. автотранспортні підприємства перевезли 14,9 млн. т. зерна (+13,7% до обсягів 2017 р.). Автомобільний транспорт економічно доцільний на більш коротких відстанях та при перевезенні невеликих партій зерна, залізничний транспорт ефективніший на відстанях більше 200 км та при перевезенні порівняно великих партій зернових.

Для оцінки ефективності впровадження тих чи інших заходів, зокрема, відправницької маршрутизації, спрямованих на удосконалення системи доставки зерна у порти на експорт та підвищення ефективності експлуатації рухомого складу, необхідно оцінити витрати на перевезення зернових як автомобільним, так і залізничним транспортом. Така оцінка дозволить проаналізувати умови конкуренції між цими видами транспорту в залежності від відстані перевезень та умов експлуатації рухомого складу.

Загальні економічні витрати, пов'язані з доставкою 1 т зерна на портові термінали в загальному випадку можуть бути визначені як [129]:

$$S = S_{\text{тр}} + S_{\text{ел}} + S_{\text{р}}, \quad (3.1)$$

де $S_{\text{тр}}$ – витрати, пов'язані з перевезенням зерна різними видами транспорту;

$S_{\text{ел}}$ – витрати, пов'язані з переробкою зерна на елеваторах;

$S_{\text{р}}$ – приведені витрати, пов'язані з розвитком інфраструктури та парку рухомого складу для перевезень.

Можливими варіантами доставки зернових при цьому є:

- перевезення вантажів автомобільним транспортом у морські порти безпосередньо з місць його зберігання;
- перевезення зерна автомобільним транспортом до лінійних елеваторів і його подальша доставка в порт повагонними відправками;
- розвиток лінійних елеваторів, перевезення зерна до них автомобільним транспортом і подальша його доставка в порт маршрутними відправками.

3.2.1 Вартість перевезення зернових автомобільним транспортом

Витрати, пов'язані з перевезенням зернових вантажів автомобільним транспортом залежать від значної кількості випадкових факторів. Потрібно відзначити, що на вартість автоперевезень істотно впливає тип вантажу і ще більше – маршрут перевезення (наприклад, вартість перевезення в районах, розташованих поблизу зони Операції об'єднаних сил, вище, ніж перевезення по решті території України). Крім того, на вартість автоперевезення впливають коливання вартості палива, стан доріг по маршруту перевезення, сезон перевезення, погодні умови тощо (рис. 3.2) [130].



Рисунок 3.2 – Динаміка зміни цін на перевезення 20 т вантажу автотранспортом у період 01.05.2018 – 01.05.2019, грн./км

На основі аналізу провідних інформаційних сервісів, що спеціалізуються на перевезеннях зерна в Україні, зокрема, автомобільних, була встановлена середня величина вартості доставки 1 т зерна в залежності від відстані; відповідні значення наведені у табл. 3.2 [130-132].

Таблиця 3.2 – Вартості перевезення зерна автомобільним транспортом

Відстань перевезень		Вартість перевезення з урахуванням ПДВ, грн за т-км
Від	До	
0	100	2,43
101	200	1,96
201	300	1,57
301	400	1,40
401	500	1,31
501	600	1,18
601	700	1,06
Понад 700		1,01

При цьому, вартість доставки нелінійно залежить від відстані перевезень (рис. 3.3)

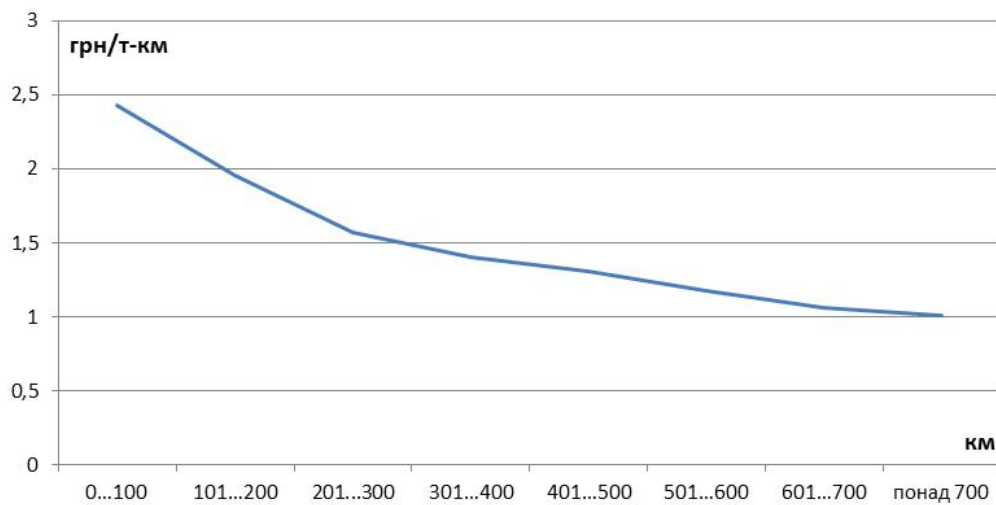


Рисунок 3.3 – Залежність вартості автоперевезень зерна від відстані

З метою виконання наступних досліджень у дисертації проведено регресійний аналіз даних табл. 3.2, у процесі якого виконано апроксимацію вартості 1 т-км при перевезенні зерна автотранспортом на основі 38 різних залежностей [133]. По мінімуму залишкової дисперсії встановлено, що вартість одного т-км перевезень зернових вантажів автомобільним транспортом може бути апроксимована за допомогою залежності:

$$c_{\text{авт}} = \frac{1}{\ln(1,4286 + 0,0017l_{\text{пер}})}, \quad (3.2)$$

де $l_{\text{пер}}$ – відстань перевезень.

При перевезенні у морські порти стягується додаткова плата в розмірі 35 грн за тонну, що пов'язано зі значними простоями автомобілів в очікуванні вивантаження. Крім того, при порівнянні залізничного й автомобільного транспорту необхідно враховувати, що мережа автодоріг в Україні є більш щільною, тому відстань перевезень автодорогами в середньому на 10 % менша.

Остаточні, загальні витрати, пов'язані з перевезеннями 1 т зернових вантажів автомобільним транспортом, можуть бути визначені як:

$$S_{\text{авт}} = z_{\text{п}} c_{\text{п}} + \frac{l_{\text{пер}}}{\ln(1,4286 + 0,0017l_{\text{пер}})}, \quad (3.3)$$

де $z_{\text{п}}$ – булева змінна, яка приймає значення 1, якщо перевезення виконується до порту, і 0, якщо перевезення виконується в іншому напрямку;

$c_{\text{п}}$ – додатковий збір, пов'язаний з перевезеннями вантажів у порти.

Окрім транспортних витрат під час перевезення зернових автомобільним транспортом, відправники несуть наступні додаткові витрати [130]:

- сертифікат якості зерна на експортно-імпорتنі операції – 6,2 грн/т;
- фітосанітарний сертифікат – 2,5 грн/т;
- карантинний сертифікат – 2,2 грн/т;

Розрахунок витрат на перевезення зерна автомобільним транспортом наведено в Додатку Г.

3.2.2 Вартість перевезення зернових залізничним транспортом

Витрати на залізничні перевезення пов'язані з експлуатацією інфраструктури і рухомого складу залізничного транспорту, додатковими платами і зборами, що стягуються залізницями, витратами на доставку зерна на елеватори автомобільним транспортом і його перевантаження на залізничний транспорт, а також з оплатою різних сертифікатів. Істотний вплив на величину витрат здійснює приналежність вагонів-зерновозів до парку вагонів власності залізниць або до парку власних (орендованих вагонів). Варто відзначити, що з 2018 р. біль-

шість інвентарних вагонів-зерновозів, що перебували у власності АТ «Укрзалізниця», перейшли у підпорядкування одного з структурних підрозділів УЗ – Центру транспортної логістики (ЦТЛ); в зв'язку з цим плата за перевезення зерна в таких вагонах визначається як для власних (орендованих вагонів) [134].

При використанні власних (орендованих) вагонів, зокрема і вагонів ЦТЛ, витрати на доставку зерна в порти можуть бути визначені за формулою [129]:

$$S_{\text{зал}} = S_{\text{пв}} + S_{\text{ел}} + S_{\text{пп}} + \frac{S_{\text{інф-зав}} + S_{\text{інф-пор}} + S_{\text{ваг-в}} \cdot \theta_{\text{ваг}} + S_{\text{пз}} + S_{\text{дод}}}{P_{\text{ст}}}, \quad (3.4)$$

де $S_{\text{пв}}$ – вартість підвезення вантажу до елеватору автомобільним транспортом, грн/т;

$S_{\text{ел}}$ – витрати, пов'язані з перевантаженням зерна на елеваторі, грн/т;

$S_{\text{пп}}$ – вартість перевалки зерна в порту, грн/т;

$S_{\text{інф-зав}}$, $S_{\text{інф-пор}}$ – витрати, пов'язані з оплатою за тарифом залізниць за використання інфраструктури при перевезенні відповідно власного завантаженого і порожнього вагону, грн./ваг.

$S_{\text{пз}}$, $S_{\text{дод}}$ – відповідно витрати, пов'язані з додатковими платами і зборами, що стягуються залізницями, а також отриманням різних сертифікатів і додатковими платежами, грн/ваг;

$S_{\text{ваг-в}}$ – добова ставка за користування вагоном, грн/ваг;

$\theta_{\text{ваг}}$ – обіг вагона, діб.

$P_{\text{ст}}$ – статичне навантаження вагона-зерновоза, т.

Розмір плати за інфраструктурну складову визначається як [42]:

$$S_{\text{інф}} = \frac{1,2 \cdot (c_{\text{пко}} + c_p) \cdot k_{\text{інд}}}{P_{\text{ст}}}, \quad (3.5)$$

де 1,2 – коефіцієнт, що враховує сплату ПДВ;

$c_{\text{пко}}$ – ставка за початково-кінцеві операції;

c_p – ставка за операцію руху;

$k_{\text{інд}}$ – коефіцієнт індексації до збірника тарифів; відповідно до [135] з 30.03.2019 для вантажів другого тарифного класу $k_{\text{інд}} = 2,419$;

Статичне навантаження вагонів-зерновозів визначене на підставі даних аналізу використання вагонів в 2016 році (див. розділ 2): за даний період зерновозами на експорт було перевезено 29,04 млн. т (табл. 2.5), а кількість завантажених вагонів склала 434 823 вагонів (табл. 2.7); тобто, $p_{ст}=66,8$ т.

Ставка за початково-кінцеві операції під час перевезення вантажів за другою тарифною схемою у відповідності зі Збірником тарифів [42] для перевезення вантажів у власних (орендованих) вагонах за формулою:

$$c_{пко}^B = 386,35865 + 28,61916k_L, \quad (3.6)$$

де k_L – коефіцієнт, який коректує вартість перевезення залежно від інтенсивності вантажних операцій.

Ставка за операцію руху під час перевезення у власних (орендованих) вагонах за формулою:

$$c_p^B = (6,37656 + 0,47234k_L + p_{ст} (0,0205 + 0,00152k_L))l_{пер}k, \quad (3.7)$$

де k – коефіцієнт, який коректує вартість операції руху залежно від відстані перевезення.

Плата за користування вагонами власності АТ «Укрзалізниця» (ЦТЛ) з розрахунку на 1 т стягується за тарифним терміном доставки [134]:

$$S_{ваг-уз} = \frac{c_{ваг}^{уз} \cdot T}{p_{ст}}, \quad (3.8)$$

де $c_{ваг}^{уз}$ – добова ставка за користування вагоном-зерновозом власності ЦТЛ; у 2019 р. $c_{ваг}^{уз} = 1363$ грн/доб [124];

T – термін користування вагоном, діб.

Термін користування вагоном ЦТЛ включає тарифний термін доставки навантаженого вагону $T_{ван}$ та термін повернення порожнього вагону $T_{пор}$. Окрім того, з 2018 р. введено коефіцієнт $T_{дод}$, який дорівнює 1 доба і додається до розрахункового терміну доставки як навантаженого вагона, так і до терміну повер-

нення порожнього вагону для всіх перевезень у внутрішньому сполученні [134]. Таким чином, повний термін користування вагоном ЦТЛ складає:

$$T = (T_{\text{ван}} + T_{\text{дод}}) + (T_{\text{пор}} + T_{\text{дод}}) \quad (3.9)$$

Термін доставки навантаженого вагона $T_{\text{ван}}$ визначається в залежності від відстані перевезення $l_{\text{пер}}$ та швидкості доставки (повагонної – 200 км/доб чи маршрутної – 320 км/доб.). З 2018 р. введена оплата за порожній пробіг вагонів власності ЦТЛ; при цьому порожній рейс вагона визначається як:

$$l_{\text{пор}} = k_{\text{пор}} \cdot l_{\text{пер}}, \quad (3.10)$$

де $k_{\text{пор}}$ – коефіцієнт порожнього пробігу, який у 2019 р. становив 0,91 [136].

Величина плати за власний (орендований) вагон встановлюється його власником подовово $c_{\text{ваг}}^{\text{в}}$. У цих умовах величина плати за власний вагон визначається з виразу:

$$S_{\text{ваг-в}}^{\text{нав}} = \frac{c_{\text{ваг}}^{\text{в}} \left(\frac{l_{\text{пер}}}{v_{\text{мв}}} + \frac{l_{\text{пер}}}{v_{\text{мп}}} + t_{\text{нав}} + t_{\text{вив}} \right)}{P_{\text{ст}}}, \quad (3.11)$$

де $v_{\text{мв}}$, $v_{\text{мп}}$ – відповідно маршрутні швидкості руху завантаженого й порожнього зерновоза, км/доб;

$t_{\text{нав}}$, $t_{\text{вив}}$ – простій на станціях навантаження й вивантаження, діб.

Окрім того, за перевезення порожніх власних вагонів, зокрема і вагонів власності ЦТЛ, стягується плата за 14-ю тарифною схемою, яка становить:

$$c_{\text{р}}^{\text{пор}} = 0,658343lk, \quad (3.12)$$

а віднесена на 1 т вантажу становить:

$$S_{\text{ваг-в}}^{\text{пор}} = \frac{1,2n_{\text{ос}}c_{\text{р}}^{\text{пор}}k_{\text{інд}}^{\text{пор}}}{P_{\text{ст}}}, \quad (3.13)$$

де $k_{\text{інд}}^{\text{пор}}$ – коефіцієнт до збірника тарифів для порожніх вагонів, який згідно з [135] у 2019 р. становив $k_{\text{інд}}^{\text{пор}} = 1,651$.

n_{oc} – кількість осей у вагоні.

Крім тарифу під час перевезення вантажів залізничним транспортом стягуються додаткові плати та збори. Вартість подачі-прибирання вагонів визначається залежно від добового вагонопотоку та відстані подачі-прибирання. Віднесена на 1 т вантажу вартість подачі-прибирання визначається з виразу:

$$S_{п-п} = \frac{1,2c_{п-п}k_{інд}^{пз}}{n_{п-п}P_{ст}}, \quad (3.14)$$

де $c_{п-п}$ – величина ставки збору за подачу та прибирання вагонів;

$k_{інд}^{пз}$ – коефіцієнт до збірника тарифів для плат і зборів, $k_{інд}^{пз}=3,023$ [135].

$n_{п-п}$ – кількість вагонів, що подаються та прибираються у середньому за добу.

Так, якщо за добу у середньому на елеватор подається (локомотивом залізниці) 6 вагонів, а відстань подачі та прибирання разом становлять 3 км, то $c_{п-п} = 1024,4$ грн, що у розрахунку на 1 т згідно з (3.14) складає 9,27 грн.

Для морських портів характерні значні розміри подачі-прибирання вагонів. Наприклад, у 2018 р. в морський термінал ТОВ «Трансінвестсервіс» у середньому за добу подавалось 809 вагонів, однак в деякі дні подавалось більше 1000 вагонів. В зв'язку з цим вартість, що віднесена на 1 т, для портів нижче, ніж для елеваторів і складає близько 1,0 грн.

За знаходження вагонів перевізника ЦТЛ під вантажними операціями на місцях незагального користування стягується плата за користування вагонами [42]. Величина ставки плати за користування вантажними вагонами має прогресивну форму та змінюється в межах (без врахування індексації) від 0,8 грн за 1 годину до 206,2 грн за 45 годин. На підставі аналізу обігу вагонів-зерновозів в 2016 році встановлена середня плата за користування вагонами при їх навантаженні та вивантаженні. Отримані дані наведені у Додатку Д (табл. Д.1-Д.2). При цьому середня ставка за простій вагонів ЦТЛ під навантаженням становить $c_{пвн} = 211,23$ грн, а за простій вагонів ЦТЛ під вивантаженням – $c_{пвв} = 81,41$ грн.

Витрати, пов'язані з користуванням вагонами на під'їзних коліях при їх навантаженні й вивантаженні, визначається як:

$$S_{\text{пв}} = \frac{1,2(c_{\text{пвн}} + c_{\text{пвв}})k_{\text{інд}}^{\text{пз}}}{P_{\text{ст}}}, \quad (3.15)$$

і становлять 15,89 грн. за 1 т.

До додаткових плат і зборів також відносяться вартість запірнопломбувальних пристроїв (ЗПП), плат за роботу маневрового локомотива, за охорону вагонів; окрім того, відправники також відправники несуть деякі додаткові витрати, пов'язані з підвозом зерна автотранспортом, придбанням сертифікатів (якості, фіто-санітарного, карантинного) тощо. Розрахунок цих витрат наведено в Додатку Д.1. Підсумкові значення додаткових плат та зборів при організації залізничних перевезень зерна у розрахунку на 1 т наведено у табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Додаткові плати та збори при залізничних перевезеннях зерна

№ п/п	Стаття витрат	Ставка, грн./т
1	Подача та прибирання вагонів на/з елеватора	9,27
2	Подача та прибирання у/з порту	1,0
3	Знаходження вагонів під вантажними операціями на під'їзних коліях	15,89
4	Встановлення запірнопломбувальних пристроїв	4,94
5	Робота маневрового локомотива на під'їзній колії	31,78
6	Охорона вантажів	0,047*
7	Підвезення зерна до елеватора автотранспортом та перевантаження на залізничний транспорт	86,3
8	Сертифікат якості зерна для експортно-імпортних операцій	6,2
9	Фіто-санітарний сертифікат	2,5
10	Карантинний сертифікат	2,2

*за 1 т-км

Залежність витрат на перевезення зерна залізничним транспортом з використанням вагонів перевізника (ЦТЛ) визначена в Додатку Д.2.

При довгостроковій оренді вагонів приватних компаній оплачується вартість власне оренди вагонів (1300...1800 грн/доб), вартість поточного ремонту – 45000 грн./рік,, а також додаткові витрати, пов'язані з простоєм вагонів на станційних коліях і операційні витрати [104, 137]. Розрахунок витрат, пов'язаних з перевезеннями зерна у орендованих вагонах власності приватних компаній наведено у Додатку Д.3. При цьому орендна плата за вагон у перерахунку на 1 т зерна, перевезену за рік, склала 238,6 грн.

При використанні певним агрохолдингом власних (приватних) нових вагонів-зерновозів з'являються додаткові витрати на придбання рухомого складу (лізинговий платіж), а також на його утримання, ремонт, амортизацію та оперування. Вартість нового вагона-зерновоза складає 50...70 тис. USD [104, 137]. Ставка плати за користування новим вагоном-зерновозом визначається з умови забезпечення беззбиткової роботи компанії протягом дії лізингового договору та формування прибутку в період від закінчення лізингу до закінчення нормативного строку служби вагонів. Розрахунок витрат на перевезення у нових власних вагонах наведено у Додатку Д.4. При цьому, залежно від варіанта лізингу, добова плата за користування новим вагоном коливається в межах 32,1...53,2 USD, а середня добова ставка плати за новий вагон становить 41,9 USD. З врахуванням річної продуктивності вагона середня плата за користування новим вагоном, що припадає на 1 т перевезеного зерна, складає 6,3 USD або 169,4 грн.

На рис. 3.4 представлені залежності витрат на перевезення зерна в порт автомобільним і залізничним транспортом [129].

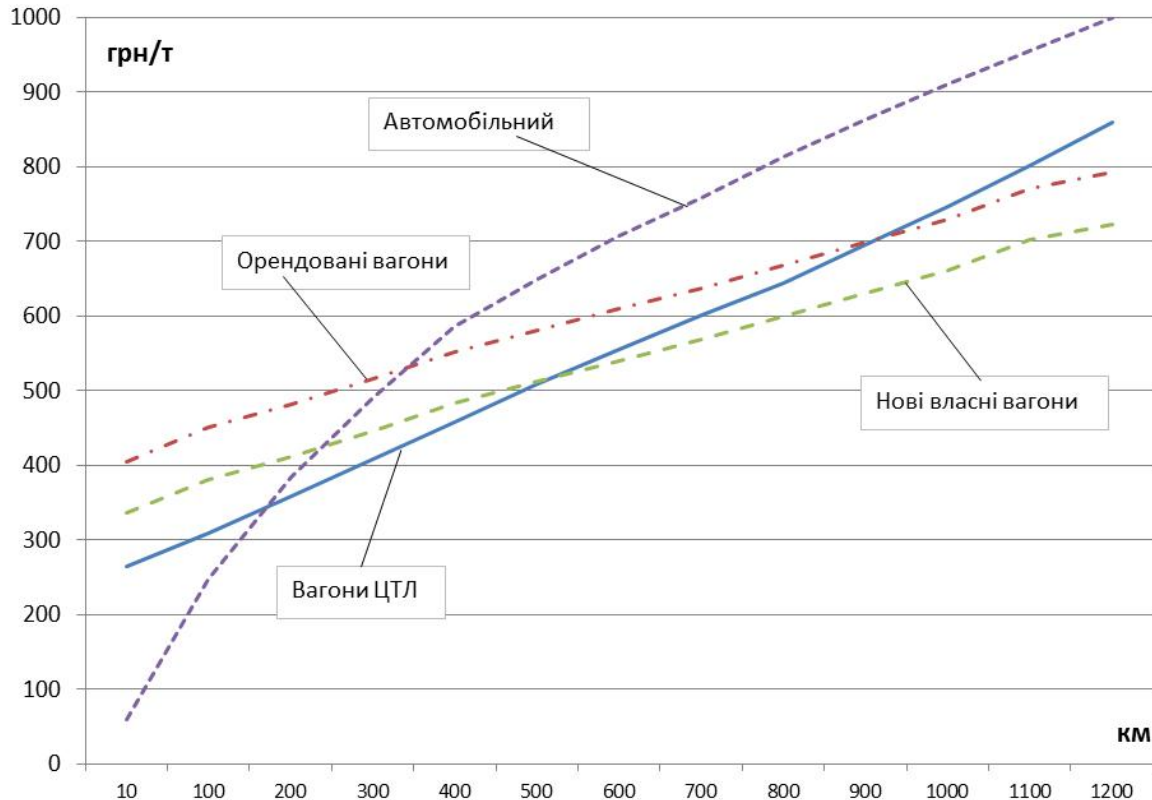


Рисунок 3.4 – Залежність витрат на перевезення зерна в порт автомобільним і залізничним транспортом

Порівняння умов конкуренції залізничного й автомобільного транспорту показує, що залізничний транспорт є більш конкурентоспроможним з автомобільним на відстанях більше 150 км під час перевезення у вагонах ЦТЛ, на відстанях більше 250 км – у нових власних вагонах, та на відстанях більше 350 км у орендованих вагонах приватних компаній.

У 2018 р. змінились умови користування вагонами перевізника (ЦТЛ), а також у зв'язку із значним попитом суттєво виросла плата за оренду вагонів приватних компаній. У зв'язку з цим на відстанях до 500...600 км найбільш економічним є варіант використання для перевезення зерна вагонів ЦТЛ, на більших відстанях – доцільно використовувати власні вагони. Разом з тим, придбати та використовувати нові власні вагони можуть тільки великі агрохолдинги, тому в умовах дефіциту вагонів ЦТЛ оренда вагонів приватних компаній залишається досить актуальним способом організації перевезень для відправників, що не мають власного рухомого складу.

3.3 Імітаційне моделювання перевезення зернових вантажів залізничним транспортом

Як зазначалось, одним з найбільш ефективних методів удосконалення організації вагонопотоків з зерновими вантажами є маршрутизація. При цьому може використовуватись як відправницька маршрутизація, коли зернові маршрути формуються на одній станції, так і ступінчата, коли на кількох елеваторах виконується узгоджене навантаження вагонів, а на вузловій (технічній) станції формується наскрізний потяг, який прямує в порт. Досить перспективним методом також є організація руху маршрутних поїздів за розкладом між спеціалізованими елеваторами, орієнтованими на накопичення експортних партій зерна, та портами, що здійснюють перевалку зерна у судна на експорт [138, 139].

У зв'язку з цим було поставлено завдання – оцінити ефективність різних варіантів організації вагонопотоків з зерновими вантажами, що прямують у морські порти на експорт. Необхідно відзначити, що умови обігу вагонів при перевезенні зерна характеризуються впливом значної кількості випадкових фа-

кторів. У зв'язку з цим показники експлуатації рухомого складу і показники ефективності системи транспортування зерна також будуть випадковими величинами. З огляду на стохастичний характер роботи оцінка ефективності різних варіантів технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти (вагонні відправки, відправницькі та ступінчаті маршрути, організація руху зернових поїздів за розкладом) була виконана за допомогою удосконаленої імітаційної моделі залізничного напрямку [140, 141].

3.3.1 Структура імітаційної моделі

При побудові функціональної моделі ланцюг поставки зерна від елеваторів до портів розглядається як замкнута транспортна система. Об'єктом обслуговування при цьому є вагони, з якими в процесі їх обігу виконуються певні технологічні операції. У моделі кожен вагон описується структурою:

$$v = \{i_v, \mathbf{P}, t_{\text{п}}, t_{\text{к}}, i_s\} \quad (3.16)$$

де i_v – ідентифікатор вагона;

\mathbf{P} – вектор параметрів вагону;

$t_{\text{п}}, t_{\text{к}}$ – відповідно, момент початку і закінчення виконання поточної технологічної операції;

i_s – ідентифікатор состава.

Вектор параметрів \mathbf{P}_v містить інформацію про тип вагону k , масу вантажу m , станцію відправлення $S_{\text{в}}$ та призначення $S_{\text{п}}$ тощо:

$$\mathbf{P}_v = \{k, m, S_{\text{в}}, S_{\text{п}}, U\} \quad (3.17)$$

Для можливості дослідження різних варіантів організації перевезень зерна між станціями його навантаження та портами до вектору параметрів вагону \mathbf{P}_v (3.17) додано параметр U , який характеризує тип технології організації перевезень з вагоном (повагонна відправка, маршрутна в завантаженому напрямку, рух кільцевих маршрутів, рух за розкладом тощо). Для реалізації такої можливості параметр U введено також у структуру, що характеризує поїзд:

$$S = \{i_s, \mathbf{V}, \mathbf{P}_s, U\} \quad (3.18)$$

де \mathbf{V} – вектор вагонів у складі поїзда.

\mathbf{P}_s – вектор параметрів поїзда (маса, маршрут руху, завантажений/порожній).

$$\mathbf{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\} \quad (3.19)$$

де n – кількість вагонів у складі поїзда

В процесі моделювання руху кожного вагона його загальний обіг розбивається на етапи, тривалості перебування в яких моделюються як випадкові величини. Основними фазами обслуговування, в яких знаходиться вагон від станції навантаження до припортової станції вивантаження, є:

- знаходження на станції навантаження;
- прямування від станції навантаження до технічної станції;
- знаходження вагона на технічній станції;
- прямування вагона від технічної станції на припортову станцію;
- знаходження вагона на припортовій станції під вивантаженням.

Пропуск порожніх вагонів відбувається в зворотному напрямку. Принципова схема функціонування імітаційної моделі представлена на рис. 3.5.

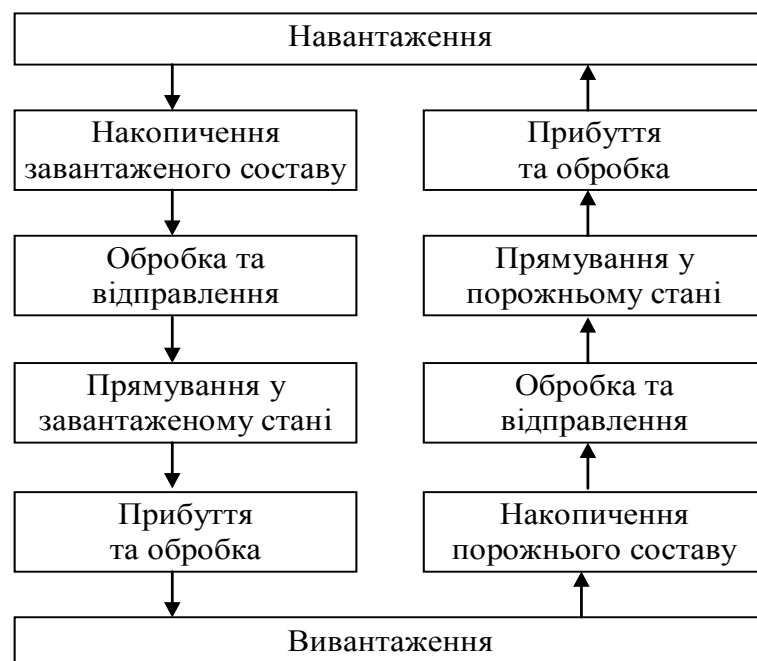


Рисунок 3.5 – Принципова схема моделі руху вагонопотоків

У якості апаратів обслуговування в системі доставки зерна залізничним транспортом розглядаються підсистеми прийому, вантажної роботи, формування і відправлення на залізничних станціях, а також залізничні напрямки між станціями [142].

Кожному апарату обслуговування d_j у відповідність ставиться множина вагонів \mathbf{V} , що знаходяться в обробці, ідентифікатор наступного (відповідно до технології) апарату обслуговування n , тип q_v та параметри \mathbf{q}_n функції розподілу випадкової величини тривалості обслуговування:

$$d = \{\mathbf{V}, n, q_v, \mathbf{q}_n\} \quad (3.20)$$

Зміна стану апаратів обслуговування виконується по команді системного таймера з деяким кроком t_c . У момент надходження вагона v_i на обслуговування до певного апарату (фази) визначається момент початку обслуговування t_n і розраховується момент закінчення обслуговування:

$$t_k = t_n + f(q_v, \mathbf{q}_n). \quad (3.21)$$

Для спрощення моделі при моделюванні обслуговування составів для всіх його вагонів встановлюється однакова тривалість виконання технологічних операцій. Технологічні операції з вагонами вважаються виконаними, коли для всіх операцій $t_k < t_c$.

Особливим випадком є моделювання процесу накопичення составів [143]. При моделюванні накопичення составів по довжині закінчення виконання операції визначається по досягненню заданої кількості вагонів у составі з закінченими технологічними операціями. При моделюванні накопичення составу за часом (наприклад, при організації руху поїздів за розкладом) закінчення виконання операції виконується у фіксований момент часу для всіх вагонів, для яких справедлива умова $t_k < t_c$. Всі вагони з виконаними технологічними операціями переводяться в наступний апарат (фазу) обслуговування.

Параметр U (3.17), що характеризує варіант організації перевезень зерна представляє собою список:

$$U = \{m_j\}, \quad j=1, 2, \dots, g \quad (3.22)$$

де m_j – параметр, що характеризує тривалість знаходження вагона/поїзда в певній j -тій фазі обслуговування між станціями навантаження та вивантаження;

g – кількість фаз (рис. 3.5);

В залежності від технології організації перевезень для кожної j -ї фази обслуговування параметр m_j може приймати наступні значення: 0 – дана фаза об'їгу вагона відсутня для цього варіанту; 1 – тривалість фази є постійною величиною; 2 – тривалість фази моделюється як випадкова величина з заданим законом розподілення; 3 – тривалість фази визначається за результатами імітаційного моделювання процесу.

Імітаційна модель системи перевезень зерна розроблена на основі об'єктно-орієнтованого підходу і реалізована у вигляді програмного комплексу «Nitki.exe», який дозволяє моделювати процес проходження зерновозів від станцій навантаження до припортових станцій вивантаження. Головне вікно програмного комплексу наведено на рис. 3.6. Характеристика програмного комплексу наведена у Додатку Е.

The screenshot displays the main window of the «Nitki.exe» simulation software. The interface is organized into several sections:

- Top Bar:** Includes buttons for "Стоп" (Stop) and "Показать" (Show), and a menu with options: "Исходные данные" (Initial data), "График" (Graph), "Состояние" (Status), "Оборот вагонов" (Turnover of wagons), "Накопление вагонов" (Accumulation of wagons), "Следование грузных" (Movement of loaded), and "Следование порожних" (Movement of empty).
- Files Section:** "Файлы данных" (Data files) with sub-items "Данные" (Data) and "Результаты" (Results).
- Simulation Parameters:**
 - Period of modeling: 2000
 - Number of wagons in the system: 104
 - Stabilization: 800
 - Location of tracks: "равномерно" (uniformly)
 - Dispatching of loaded trains: "по готовности с постоянным составом" (upon readiness with constant composition)
 - Dispatching of empty trains: "по готовности с постоянным составом" (upon readiness with constant composition)
 - Reliability of processes: 0,95
- System Parameters (Параметры системы):**
 - Загрузка (Loading):** Датчик СЧ: 21543, Распределение: Логнормальное, Мат. ожидание: 24,02, Параметр формы: 0,3881.
 - Накопление грузного состава (Accumulation of loaded composition):** Выставка: 0,5, Норма: 52.
 - Отправление грузных (Dispatching of loaded):** Датчик СЧ: 98739, Распределение: Показательное, Мат. ожидание: 3.
 - Следование грузных (Movement of loaded):** Датчик СЧ: 73277, Распределение: Логнормальное, Мат. ожидание: 71,04, Параметр формы: 0,1941.
 - Выгрузка (Unloading):** Датчик СЧ: 34156, Распределение: Логнормальное, Мат. ожидание: 30,66, Параметр формы: 0,347.
 - Накопление порожнего состава (Accumulation of empty composition):** Выставка: 0,5, Норма: 52.
 - Отправление порожних (Dispatching of empty):** Датчик СЧ: 75231, Распределение: Показательное, Мат. ожидание: 3.
 - Следование порожних (Movement of empty):** Датчик СЧ: 95433, Распределение: Логнормальное, Мат. ожидание: 56,16, Параметр формы: 0,5152.

Рисунок 3.6 – Интерфейс програмного комплексу «Nitki.exe»

Після закінчення вагоном чергового циклу обігу фіксуються тривалості перебування його в кожній з підсистем. Далі ці дані використовуються для статистичного аналізу процесу перевезення зерна зі станцій навантаження у морські порти.

3.3.2 Визначення параметрів випадкових величин для моделювання руху зерновозів

Як показав аналіз вагонопотоків, одним з найбільш потужних і стійких напрямків перевезення зернових вантажів від постачальників в морські порти на експорт є маршрут від станції Торопилівка Південної залізниці до станції Чорноморська (ТІС) Одеської залізниці. До станції Торопилівка примикає під'їзна колія найбільшого в Україні Степанівського елеватора потужністю одночасного зберігання 488 тис. т. (табл. 2.2), а обсяги навантаження зерна по станції у 2018 р. склали 486,7 тис. т. (табл. 2.5). Характеристика елеватора наведена у Додатку Ж. Від станції Чорноморська вагони з зерном подаються в порт Південний і на морський термінал ТОВ «Трансінвестсервіс» (ТІС) для перевантаження на судна. При цьому термінал ТІС є одним з найбільш потужних портових терміналів в Україні з перевалки зернових вантажів. Термінал «ТІС-Зерно» є найбільшим в Україні та має потужність одночасного зберігання 460 тис. т, а загальна перевалка зерна на терміналі у 2018 р. склала 6,5 млн. т. (табл. 2.4). Характеристика терміналу наведена у Додатку Б. В зв'язку з цим саме цей напрямок був розглянутий для оцінки ефективності різних варіантів організації перевезень зерна з використанням методів імітаційного моделювання.

В результаті обробки статистичних даних АСКВП-УЗ-Е про рух зерновозів (див. п. 2.5), була отримана і проаналізована вибірка значень ($n=1563$ вагонів), яка включає перевезення зернових вантажів зі станції Торопилівка до станції Чорноморська. При цьому були отримані параметри законів розподілу випадкових величин тривалості навантаження зерновозів по станції Торопилівка, тривалості їх вивантаження по станції Чорноморська і тривалості руху як в завантаженому, так і в порожньому станах.

Для прикладу, в табл. 3.4 наведено статистичний ряд, а на рис. 3.7 – гістограму розподілу випадкової величини тривалості руху завантажених зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (ТІС). При цьому, встановлено, що вказана випадкова величина розподілена за логарифмічно-нормальним законом [144]:

$$F_T(t) = \Phi(\ln t; \mu_i; \sigma_i^2), t \geq 0 \quad (3.23)$$

де $\Phi(z; \mu_i; \sigma_i^2)$ – функція нормального розподілення випадкової величини $Z = \ln T$ з параметрами $(\mu_i; \sigma_i^2)$.

Таблиця 3.4 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості руху завантажених зерновозів (за даними АСКВП-УЗ-Є)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}, \text{год}$	$n_i^{\text{стат}}, \text{ваг.}$	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}, \text{ваг.}$
1	33	48	40,5	27	0,017	0,70	28,33	24,82
2	48	63	55,5	236	0,151	8,38	465,09	242,17
3	63	78	70,5	467	0,299	21,06	1485,03	472,36
4	78	93	85,5	427	0,273	23,36	1997,11	425,64
5	93	108	100,5	225	0,144	14,47	1453,97	220,18
6	108	123	115,5	102	0,065	7,54	870,57	98,07
7	123	138	130,5	58	0,037	4,84	631,96	53,47
8	138	153	145,5	14	0,009	1,30	189,62	18,22
9	153	168	160,5	5	0,003	0,51	82,41	5,9
10	168	183	175,5	2	0,001	0,22	39,41	2,21
Разом				1563	1	82,39	7243,513	1563

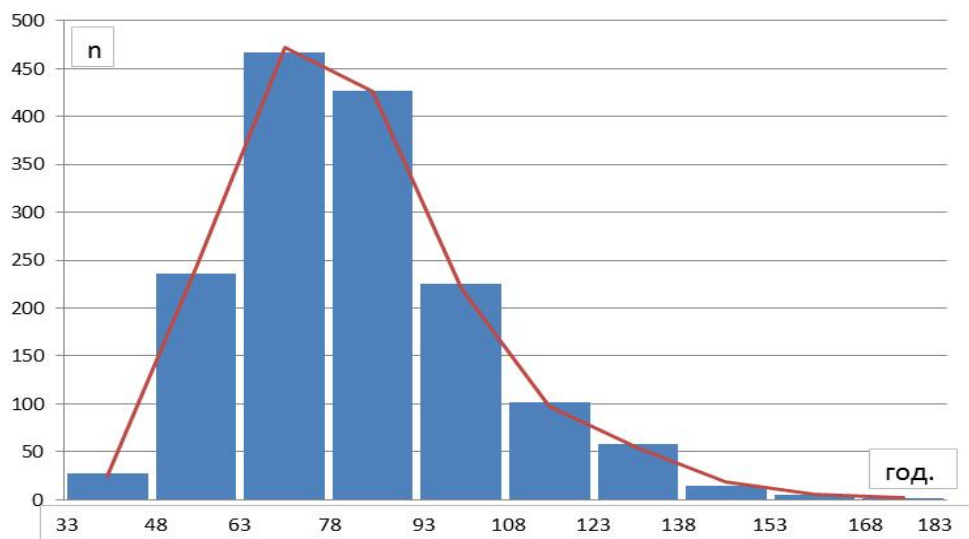


Рисунок 3.7 – Розподіл тривалості руху завантажених зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (ТІС)

Окремі значення теоретичних частот p_i в табл. 3.4 визначались як:

$$p_i = \Phi\left(\frac{\ln t_i - \mu_t}{\sigma_t}\right) - \Phi\left(\frac{\ln t_{i-1} - \mu_t}{\sigma_t}\right), \quad (3.24)$$

Перевірка гіпотез про закон розподілу випадкових величин тривалості окремих фаз руху вагонів виконана на основі критерію погодження Пірсона [144]:

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^r \frac{(p_i^* - p_i)^2}{p_i} \quad (3.25)$$

де p_i^* , p_i – відповідно статистична та теоретична ймовірності попадання випадкової величини в i -й розряд статистичного ряду;

r – кількість розрядів статистичного ряду.

Статистичною обробкою встановлено параметри логарифмічно-нормального розподілення випадкової величини тривалості руху завантажених вагонів: математичне сподівання $M[T] = 82,39$ год, ($\mu_t = 4,41$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 21,34$ год ($\sigma_t = 0,21$ год). Критерій Пірсона при цьому складає $\chi_t^2 = 4,38$. При рівні значимості $\alpha = 0,05$ та кількості ступенів свободи $\nu = (10 - 1) - 2 = 7$ квантиль $\chi_{\max}^2 = 14,10$; так як, $\chi_t^2 = 4,38 < 14,10$, то гіпотеза про логарифмічно-нормальне розподілення даної випадкової величини є підтвердженою.

Результати статистичної обробки вибірок випадкових величин, що характеризують тривалість знаходження вагонів-зерновозів у різних фазах системи перевезень за маршрутом Торопилівка – Чорноморська (ТІС), та відповідні гістограми наведені у Додатку 3. Підсумкові дані наведено у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики випадкових величин тривалості руху зерновозів на маршруті Торопилівка – Чорноморська

Випадкова величина	Закон розподілення	Математичне сподівання, год	Середнє квадратичне відхилення, год
Тривалість навантаження	Логарифмічно-нормальний	27,90	5,71
Тривалість вивантаження	Логарифмічно-нормальний	35,86	9,23
Тривалість руху у завантаженому стані	Логарифмічно-нормальний	82,39	21,34
Тривалість руху у порожньому стані	Логарифмічно-нормальний	65,82	18,84
Разом	–	211,97	–

Отримані дані використані для ідентифікації імітаційної моделі руху зерновозів між станціями навантаження зерна та морськими портами.

3.3.3 Оцінка адекватності імітаційної моделі обігу зерновозів

Для оцінки адекватності побудованої моделі та можливості її використання для аналізу різних варіантів організації залізничних перевезень зернових вантажів за допомогою програмного комплексу «Nitki.exe» була виконана серія імітаційних експериментів процесу проходження 1000 вагонів-зерновозів на напрямку Торопилівка – Чорноморська при повагонних відправленнях. Результати моделювання наведені в Додатку 3. На основі аналізу результатів моделювання були отримані тривалості перебування вагона в системах навантаження і вивантаження, тривалості перебування поїздів на станціях навантаження-вивантаження, руху навантажених і порожніх вагонів, а також обіг составів на даній ділянці при повагонній організації перевізного процесу.

Для прикладу, в табл. 3.6 наведено статистичний ряд, а на рис. 3.8 – гістограму розподілення випадкової величини тривалості руху завантажених зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (ТІС) за результатами імітаційного моделювання.

Таблиця 3.6 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості руху завантажених зерновозів (результати моделювання)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сер}}$, ГОД	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сер}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сер}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	30	50	40	52	0,052	2,08	83,20	54,55
2	50	70	60	261	0,261	15,66	939,60	269,97
3	70	90	80	348	0,348	27,84	2227,20	331,59
4	90	110	100	203	0,203	20,30	2030,00	205,26
5	110	130	120	90	0,090	10,80	1296,00	89,91
6	130	150	140	32	0,032	4,48	627,20	32,91
7	150	170	160	8	0,008	1,28	204,80	10,97
8	170	190	180	6	0,006	1,08	194,40	4,84
Разом				1000	1	83,52	7602,4	1000

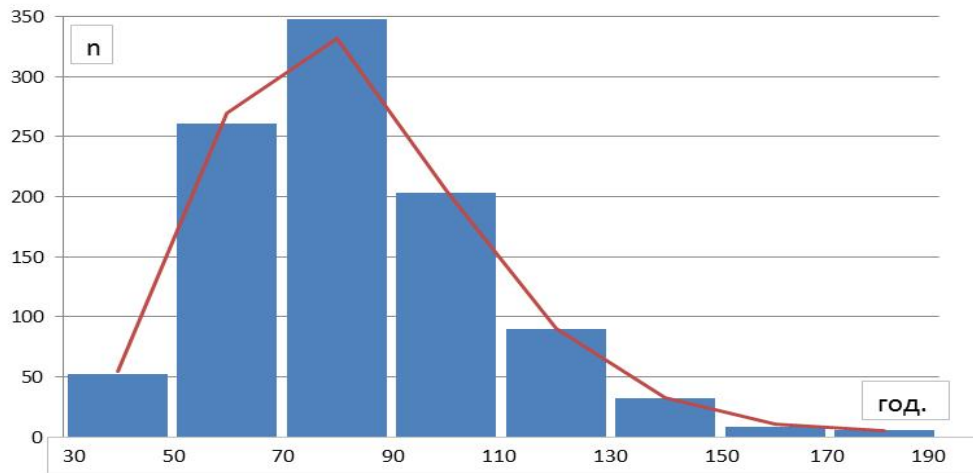


Рисунок 3.8 – Розподіл тривалості руху завантажених зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (результати моделювання)

Встановлено, що вказана випадкова величина розподілена за логарифмічно-нормальним законом (3.23) з параметрами: $M[T] = 82,52$ год, ($\mu_t = 4,42$ год), $S[T] = 25,04$ год ($\sigma_t = 0,28$ год). Гіпотеза про логарифмічно-нормальне розподілення випадкової величини підтверджується, оскільки критерій Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 2,36 < \chi^2_{\max} = 11,10$ (при рівні значимості $\alpha = 0,05$ та кількості ступенів свободи $\nu = (8 - 1) - 2 = 5$). Отримані дані є досить близькими до параметрів розподілення випадкової величини тривалості руху завантажених зерновозів, отриманих у результаті обробки даних АСКВП-УЗ-Є (рис. 3.7).

Результати статистичної обробки вибірок випадкових величин, які були отримані за результатами імітаційного моделювання руху вагонів-зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (ТІС) наведені у Додатку 3. Підсумкові дані наведено у табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Характеристики випадкових величин тривалості руху зерновозів на маршруті Торопилівка – Чорноморська (результати моделювання)

Випадкова величина	Закон розподілення	Математичне сподівання, год	Середнє квадратичне відхилення, год
Тривалість навантаження	Логарифмічно-нормальний	28,70	4,34
Тривалість вивантаження	Логарифмічно-нормальний	38,67	10,79
Тривалість руху у завантаженому стані	Логарифмічно-нормальний	83,52	25,04
Тривалість руху у порожньому стані	Логарифмічно-нормальний	59,40	13,46
Разом	–	210,29	–

Як бачимо, випадкові величини тривалості знаходження зерновозів на напрямку Торопилівка – Чорноморська (ТІС), отримані у результаті обробки даних АСКВП-УЗ-Є та за результатами імітаційного моделювання мають близькі параметри розподілення, що свідчить про адекватність побудованої імітаційної моделі руху вагонів між станціями навантаження зерна та портами.

Окрім того, оцінка адекватності імітаційної моделі виконана на основі статистичного порівняння двох вибірок значень обігу вагона-зерновозу на маршруті Торопилівка – Чорноморська (ТІС); перша вибірка $X (x_1, x_2, \dots, x_{n_x})$ була отримана в результаті статистичної обробки фактичних даних АСКВП УЗ-Є за 2016 р. (див. розділ 2) – обсяг вибірки $n_x=1563$, друга вибірка $Y (y_1, y_2, \dots, y_{n_y})$ отримана в результаті імітаційного моделювання процесу руху зерновозів на даному маршруті – обсяг вибірки $n_y=1000$.

В результаті статистичної обробки випадкової величини X встановлено (табл. 3.8), що фактичний обіг вагона-зерновоза підпорядковується логарифмічно-нормальному закону розподілення (3.23) з параметрами: $M[X] = 224,65$ год, ($\mu_x = 5,41$ год), $S[X] = 74,75$ год ($\sigma_x = 0,37$ год). Гіпотеза про логарифмічно-нормальне розподілення випадкової величини X підтверджується, оскільки критерій Пірсона при цьому складає $\chi^2_x = 4,80 < \chi^2_{\max} = 11,10$ (при рівні значимості $\alpha = 0,05$ та кількості ступенів свободи $\nu = (8 - 1) - 2 = 5$). Гістограма розподілення випадкової величини X наведена на рис. 3.9.

Таблиця 3.8 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини обігу вагона на маршруті Торопилівка – Чорноморська (за даними АСКВП-УЗ-Є)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сер}}$, ГОД	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сер}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сер}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	50	100	75	18	0,012	0,86	64,78	15,24
2	100	150	125	207	0,132	16,55	2069,34	202,19
3	150	200	175	426	0,273	47,70	8346,93	442,4
4	200	250	225	428	0,274	61,61	13862,76	416,79
5	250	300	275	239	0,153	42,05	11563,90	258,85
6	300	350	325	135	0,086	28,07	9123,08	129,49
7	350	400	375	66	0,042	15,83	5938,10	57,72
8	400	450	425	44	0,028	11,96	5084,77	40,31
Разом				1563	1	224,65	56053,66	1563

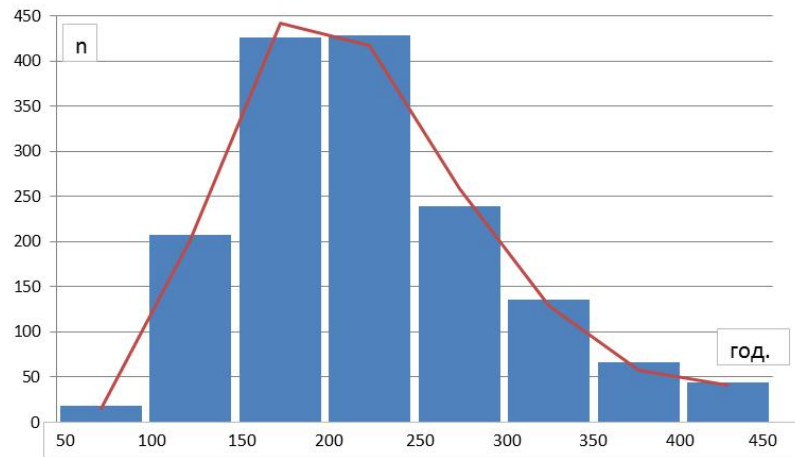


Рисунок 3.9 – Розподілення випадкової величини обігу зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (за даними АСКВП-УЗ-Є)

За результатами імітаційного моделювання руху зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська було отримано вибірку значень про обіг вагонів Y ($n_y=1000$). В результаті статистичної обробки випадкової величини Y встановлено (табл. 3.9), що змодельований обіг вагона-зерновоза підпорядковується логарифмічно-нормальному закону розподілення (3.23) з параметрами: $M[Y] = 220,1$ год, ($\mu_y = 5,39$ год), $S[Y] = 77,04$ год ($\sigma_x = 0,39$ год). Гіпотеза про логарифмічно-нормальне розподілення випадкової величини Y підтверджується, оскільки критерій Пірсона при цьому складає $\chi^2_Y = 4,09 < \chi^2_{\max} = 11,10$ (при рівні значимості $\alpha = 0,05$ та кількості ступенів свободи $\nu = (8 - 1) - 2 = 5$). Гістограма розподілення випадкової величини X наведена на рис. 3.10.

Таблиця 3.9 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини обігу вагона на маршруті Торопилівка – Чорноморська (за результатами моделювання)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сер}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сер}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сер}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	50	110	80	35	0,035	2,80	224,00	30,74
2	110	170	140	231	0,231	32,34	4527,60	247,02
3	170	230	200	351	0,351	70,20	14040,00	340,09
4	230	290	260	216	0,216	56,16	14601,60	219,13
5	290	350	320	110	0,110	35,20	11264,00	100,8
6	350	410	380	37	0,037	14,06	5342,80	39,72
7	410	470	440	11	0,011	4,84	2129,60	14,6
8	470	530	500	9	0,009	4,50	2250,00	7,91
Разом				1000	1	220,10	54379,6	1000

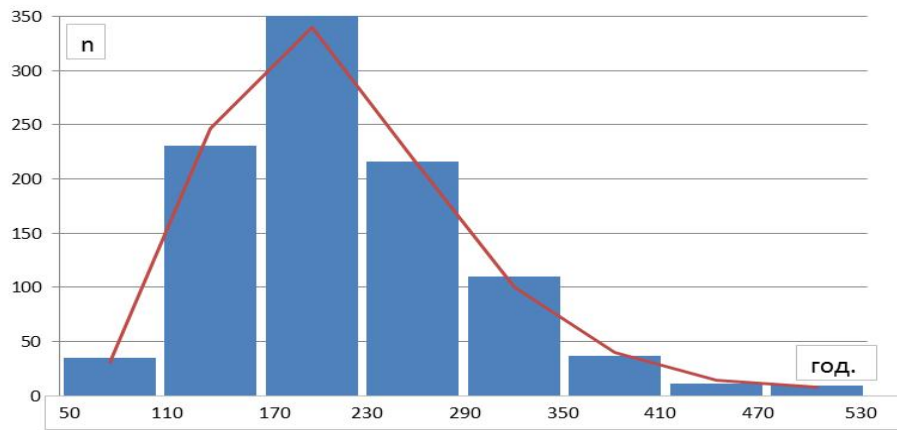


Рисунок 3.10 – Розподілення випадкової величини обігу зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (за результатами моделювання)

Як бачимо, випадкові величини X та Y мають достатньо близькі параметри законів розподілення, що свідчить про адекватність побудованої імітаційної моделі. Для підвищення достовірності твердження про адекватність розробленої імітаційної моделі для вибірок X ($n_x = 1563$) та Y ($n_y = 1000$) була виконана перевірка гіпотези про їх приналежність до однієї генеральної сукупності. З цією метою використано параметричний U -критерій Уїлкоксона [123, 144]. Цей критерій призначений для перевірки гіпотези H про те, що функції розподілу F_X і F_Y двох генеральних сукупностей однакові ($H: F_X = F_Y$); конкуруюча гіпотеза $H_1: F_X \neq F_Y$.

Значення критерію Уїлкоксона визначаються за допомогою виразів:

$$u_x = R_x - \frac{n_x(n_x + 1)}{2} \quad u_y = R_y - \frac{n_y(n_y + 1)}{2} \quad (3.26)$$

де R_x, R_y – сума рангів, які відповідають елементам вибірок X та Y .

Ранги r_i (r_j) представляють собою номери елементів обох вибірок, розташованих у порядку зростання ($r \in [1, n_x + n_y]$). В результаті розрахунку цих статистик для вибірок X та Y були отримані значення $R_x = 20\,324\,223$, $u_x = 810\,157$ та $R_y = 1\,253\,343$, $u_y = 752\,843$.

При перевірці гіпотези $H: F_X = F_Y$ проти конкуруючої гіпотези $H_1: F_X \neq F_Y$ приймається двостороння критична область; при цьому гіпотеза H відхиляється, якщо $\min(u_x, u_y) < U_{n_x, n_y, \alpha}$. При великих значеннях $n = n_x + n_y$ наближене критичне значення $U_{n_x, n_y, \alpha}$ можна визначити як [123, 144]:

$$U_{n_X, n_Y, \alpha} \approx \frac{1}{2} n_X n_Y - \lambda_q \sqrt{\frac{1}{12} n_X n_Y (n_X + n_Y + 1)}, \quad (3.27)$$

де λ_q – квантиль порядку q нормального розподілення $N(0,1)$.

Квантиль q визначається для прийнятого рівня значимості:

$$q = 1 - \alpha / 2, \quad (3.28)$$

де α – рівень значимості (прийнято $\alpha = 0,05$).

Для вибірок X та Y : $n=1563+1000=2563$, $q=1-0,05/2=0,975$, $\lambda_{0,975}=1,960$ [144]. Тоді згідно з (3.27) $U_{n_X, n_Y, \alpha}=745\,681,81$. Оскільки $\min(u_X, u_Y) = 752843 > 745681,81$, то основна гіпотеза H про приналежність вибірок X та Y до однієї генеральної сукупності не протирічить експериментальним даним і може бути прийнята. Таким чином, можна зробити висновок, що розроблена імітаційна модель руху зерновозів є адекватною і може бути використана для подальших досліджень.

3.4 Дослідження ефективності маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів

При існуючій методиці тарифікації залізничних перевезень в Україні вантажовідправники не отримують ніяких знижок до тарифу при відправленні вантажів маршрутами [30, 37, 39].

Відправлення вантажів прямими маршрутами забезпечує економію на охорону вантажів так, як ставка за 1 ваг-км для прямих маршрутів у 2,35 разів менше за вагонні відправки [42]. Також, зважаючи на концентрацію навантаження в певну добу відповідно до плану маршрутизації, є можливість скоординувати свою роботу вантажовідправника, залізниці та контролюючих органів і знизити непродуктивні простой на станції навантаження. При відправленні зернових вантажів у власних вагонах маршрутами збільшується швидкість просування вагонопотоків. Аналіз даних про просування вагонопотоків за 2016 рік показує, що виключення переробки вагонів на технічних станціях може забезпечити підвищення добової швидкості просування завантажених вагонопотоків до 278 км/доб, а порожніх вагонопотоків до 504 км/доб.

Концентрація вагонопотоків в окрему добу призводить до збільшення обсягів добової подачі-прибирання вагонів. При навантаженні маршрутів у складі 56 вагонів і подачі цих вагонів в одну добу та прибирання їх у наступну вартість подачі-прибирання вагонів, віднесена до 1 т зерна становитиме близько 8,8 грн.

Концентрація вантажопотоків на елеваторах може досягатись або за рахунок збільшення обсягів зберігання зерна на них, а відповідно і відстані підвозу зерна до елеваторів автомобільним транспортом, або за рахунок концентрації його навантаження на елеваторах в окремі дні тижня [110]. Збільшення обсягів навантаження до маршрутної відправки вимагає збільшення відстаней перевезень автотранспортом до елеватора в:

$$n_3 = \sqrt{\frac{m_M}{m_c}} \text{ раз,} \quad (3.29)$$

де m_M – кількість вагонів у маршруті;

m_c – середньодобова кількість вагонів, які відправляються з елеватора.

Так, при збільшенні щодобового навантаження на елеваторі з 6 до 56 вагонів (для формування прямих відправницьких маршрутів) необхідне збільшення середньої відстані підвезення зернових на елеватор в 3,06 рази. Відповідним чином зростають додаткові витрати, пов'язані з підвезенням зерна до елеватора автомобільним транспортом і перевантаженням на залізничний, – до 100 грн за 1 т.

Іншим напрямком забезпечення навантаження відправницьких маршрутів є збільшення тривалості зберігання вантажу. Середня тривалість накопичення вантажів на маршрут становить:

$$T_H = \frac{m_M}{m_c}, \quad (3.30)$$

а середнє збільшення тривалості зберігання зерна:

$$t_{зб} = \frac{(T_H - 1)}{2}. \quad (3.31)$$

Таким чином, для розглянутого прикладу при збереженні обсягів середньодобового навантаження формування відправницьких маршрутів на станції буде здійснюватись за:

$$T_{\text{н}} = \frac{56}{6} = 9,3 \text{ діб},$$

а збільшення тривалості зберігання зерна на елеваторі буде становити:

$$t_{\text{зб}} = \frac{(9,3 - 1)}{2} = 4,15 \text{ діб}.$$

Збільшення навантажувальної спроможності елеватора вимагає додаткових капітальних вкладень. За оцінками експертів інвестиції у модернізацію елеватора для виконання маршрутних відправок становлять близько $K=0,5$ млн. USD при терміні окупності $T_{\text{ок}} = 3 \dots 5$ років [126]. При маршрутизації перевезень порожніх вагонів додаткові витрати виникають і у вантажоодержувача у зв'язку з необхідністю розвитку колійної ємності для накопичення порожніх вагонів. Так, при виділенні 1 колії для накопичення маршрутів з порожніх вагонів додаткові приведені витрати досягають 1 млн. USD/рік [30].

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

$$S_{\text{р}} = \frac{K}{T_{\text{ок}} Q_{\text{р}}}, \quad (3.32)$$

де $Q_{\text{р}}$ – річний обсяг навантаження зерна елеватором на залізницю.

В цілому, оптимальна тривалість накопичення вантажу на маршрут визначається мінімальними додатковими витратами, пов'язаними з доставкою зерна автомобільним транспортом, його зберіганням на елеваторі і розвитком інфраструктури [110]:

$$E_{\text{дод}} = \min_{T_{\text{н}}} \left(\frac{T_{\text{н}} - 1}{2} c_{\text{зб}} + \frac{T_{\text{н}} K}{365 p_{\text{ст}} m_{\text{м}} T_{\text{ок}}} + l_{\text{авт}} c_{\text{авт}} \left(\frac{m_{\text{м}} - m_{\text{с}} T_{\text{ок}}}{m_{\text{м}}} \right) \sqrt{\frac{m_{\text{м}} + m_{\text{с}} T_{\text{ок}}}{m_{\text{с}} T_{\text{ок}}}} \right), \quad (3.33)$$

де $c_{\text{зб}}$ – вартість зберігання зерна на елеваторі [87];

$l_{\text{авт}}$ – середня відстань перевезення зерна до елеватору.

Якщо район збору зерна на елеватор являє собою коло з відстанню підвезення автотранспортом до 30 км, то залежність додаткових витрат вантажовідправника, пов'язаних з маршрутизацією перевезень, може бути представлена графіком, що наведений на рис. 3.11 [110].

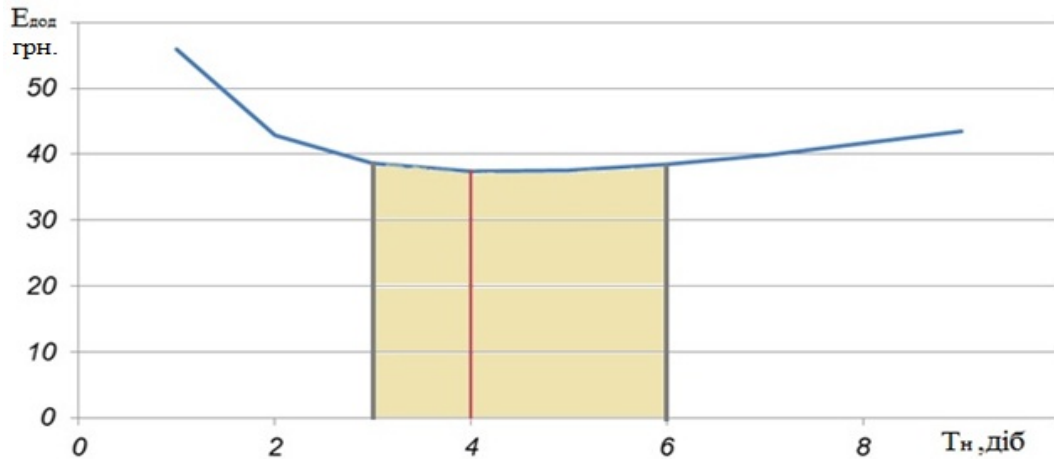


Рисунок 3.11 – Додаткові витрати вантажовідправників, пов'язані з маршрутизацією перевезень

Мінімальні додаткові витрати, що пов'язані з накопиченням вантажу на маршрут досягаються при періоді формування маршрутів у 4 доби, однак різниця у додаткових витратах при періодах у 3-6 діб незначна і складає 1...2 грн/т. Таким чином, додаткові витрати, пов'язані з накопиченням вантажів і вагонів на маршрут становлять близько 40 грн/т.

При використанні вагонів власності підприємств Укрзалізниці маршрутизація порожніх вагонів не має економічного сенсу для вантажовідправників, відповідно капітальні видатки на розвиток інфраструктури вантажоодержувачів (портів) для цього випадку не враховувалися, тому додаткові витрати, пов'язані з маршрутизацією вантажопотоків зерна для парку вагонів УЗ будуть дещо меншими і складають 32 грн/т. Залежності для порівняння вартості перевезень зернових вагонами власності УЗ у складі маршрутів наведені на рис. 3.12.

Аналіз залежностей на рис. 3.12 показує, що маршрутизація перевезень дозволяє скоротити витрати на 15...30 грн/т при наявній інфраструктурі для навантаження зерна маршрутами. У випадку, якщо таку інфраструктуру потрібно створювати, то витрати при маршрутизації практично дорівнюють витратам при повагонних відправках.

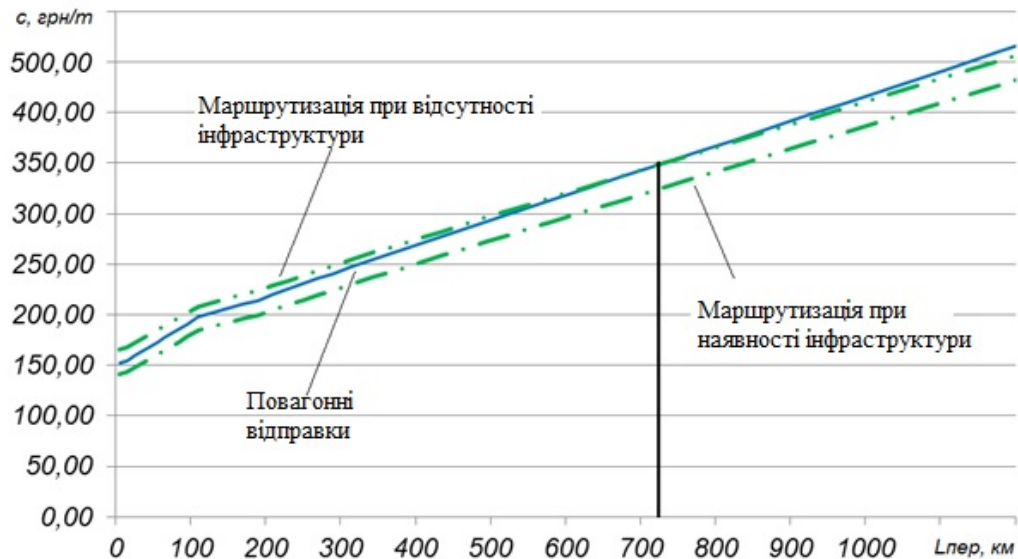


Рисунок 3.12 – Витрати на перевезення зернових вантажів маршрутними відправками в вагонах власності підприємств АТ «Укрзалізниця»

Залежності вартості перевезень зерна маршрутами у власних та орендованих у залізниці вагонах від відстані наведено на рис. 3.13 [129, 110].

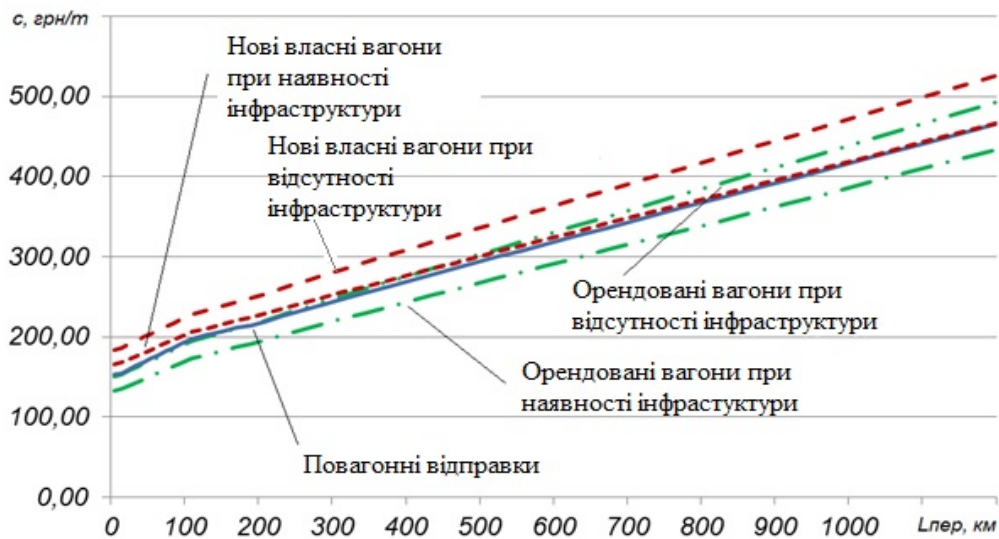


Рисунок 3.13 – Витрати на перевезення зернових вантажів маршрутними відправками у власних та орендованих вагонах

Аналіз отриманих залежностей показує, що використання орендованих вагонів при наявності створеної інфраструктури для навантаження маршрутів дозволяє забезпечити економію 25...30 грн/т зернових у порівнянні з повагонними перевезеннями. У випадку наявності і інфраструктури, і рухомого складу маршрутизація перевезень дозволяє зменшити витрати на транспортування зер-

на у морські порти на 50...60 грн/т. При наявності тільки одного їх зазначених елементів витрати на маршрутні відправки практично дорівнюють витратам на повагонні. Необхідність одночасного розвитку і парку вагонів, і інфраструктури елеваторів призводить до виникнення додаткових витрат у розмірі 40...50 грн/т у порівнянні з повагонними відправками. Однією з причин такої ситуації є відносно незначні (у порівнянні, наприклад, з США) відстані перевезень зерна. Однак, економія витрат при організації перевезення зерна маршрутами (за рахунок, зокрема, скорочення обігу вагонів та відповідно підвищення їх продуктивності) дозволяє частково компенсувати витрати відправників на придбання нового рухомого складу чи розбудову елеваторної інфраструктури.

Варто зазначити, що вказані залежності отримані для існуючої тарифної системи залізничних перевезень, що не передбачає знижок для відправників за маршрутні перевезення. Однак, як вже зазначалось, маршрутні перевезення є для залізниці менш витратними, оскільки маршрутизовані вагонопотоки не потребують переробки на технічних станціях, а початково-кінцеві операції при цьому здійснюються на місцях незагального користування вантажовідправниками та вантажоотримувачами. Запровадження Укрзалізницею гнучкої системи знижок на маршрутні перевезення та початково-кінцеві операції дасть відправникам додаткові стимули як для розвитку відправницької маршрутизації, так і для оновлення власного рухомого складу та інфраструктури [37-39].

3.5 Висновки за розділом 3

1. Аналіз світового досвіду свідчить, що одним з основних напрямків підвищення ефективності залізничних перевезень зернових вантажів є відправницька маршрутизація, яка разом з тим потребує від відправників додаткових витрат на розвиток інфраструктури, початково-кінцеві операції, придбання рухомого складу. Для стимулювання відправників зерна до широкого використання відправницьких маршрутів в ряді країн практикується надання знижок на маршрутні перевезення (від 5...15% у Російській Федерації до 50% у США); в Україні наразі така система знижок відсутня.

2. Отримані залежності витрат при перевезенні зерна залізничним та автомобільним транспортом показали, що залізничні перевезення є більш конкурен-

тоспроможними на відстанях більше 150 км під час перевезення у вагонах власності АТ «Укрзалізниця», на відстанях більше 250 км – у нових власних вагонах, та на відстанях більше 350 км у орендованих вагонах приватних компаній.

3. Для оцінки ефективності різних варіантів технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти була удосконалена імітаційна модель залізничного напрямку за рахунок уведення до її структур технологічного параметру, що дозволяє досліджувати організацію руху відправницьких маршрутів з вузлових станцій навантаження, зокрема за розкладом.

4. За результатами статистичної обробки даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонопотоків з зерном були отримані параметри випадкових величин, що характеризують тривалість знаходження зерновозів в кожній технологічній фазі системи перевезень зерна; при цьому встановлено, що зазначені випадкові величини мають логарифмічно-нормальне розподілення.

5. З врахування отриманих законів розподілення виконана ідентифікація імітаційної моделі. Адекватність моделі підтверджена на основі порівняння статистичних даних про обіг зерновозів на одному з напрямків з результатами моделювання цього процесу. За допомогою критерію Уїлкоксона встановлено, що відповідні вибірки належать одній генеральній сукупності.

6. В дисертації виконано аналіз додаткових витрат вантажовідправників при організації перевезення зерна відправницькими маршрутами. Мінімальні додаткові витрати, що пов'язані з накопиченням вантажу на маршрут досягаються при періоді формування у 4...6 діб і становлять близько 40 грн/т.

7. Отримано комплекс залежностей, що дозволяють оцінити ефективність маршрутизації в залежності від відстані та умов виконання перевезення. Аналіз залежностей показує, що маршрутизація дозволяє скоротити витрати на 15...30 грн/т при наявній інфраструктурі для навантаження зерна маршрутами. Встановлено, що використання орендованих вагонів при наявності створеної інфраструктури для навантаження маршрутів дозволяє забезпечити економію 25...30 грн/т зернових. У випадку ж наявності і інфраструктури, і рухомого складу маршрутизація перевезень дозволяє зменшити витрати на транспортування зерна у морські порти на 50...60 грн/т. При наявності тільки одного їх зазначених елементів витрати на маршрутні відправки практично дорівнюють витратам на повагонні.

РОЗДІЛ 4

ФОРМУВАННЯ ЕКСПОРТНО-ОРІЄНТОВАНОЇ МЕРЕЖІ ЕЛЕВАТОРІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ

4.1 Концентрація вантажопотоків на вузлових елеваторах

В даний час на мережі залізниць навантаження зерна можуть здійснювати більше 500 залізничних станцій [96]. Однак, як показав аналіз статистичних даних (див. розділ 2), середньодобове навантаження майже половини станцій становить менше 1 вагона на добу (рис. 2.20-2.21). Окрім того, тільки 5% станцій здійснюють навантаження зерна загалом більше половини року, а 36% – вантажать зерно загалом не більше одного місяця. Така ситуація призводить до того, що більшість зернових вантажів має відправлятися зі станцій повагонними відправками. Однак така технологія суттєво знижує ефективність використання рухомого складу – збільшує обіг вагону та зменшує його продуктивність; при цьому необхідний робочий парк вагонів для виконання запланованих обсягів перевезень зростає. Для подолання цих проблем Укрзалізниця почала широко впроваджувати маршрутизацію перевезення зернових, однак при цьому, забезпечуючи порожніми вагонами, в першу чергу, відправників маршрутів, обмежує доступ до навантажувальних ресурсів для відправників порівняно невеликих партій зерна. Окрім того, аналіз показує, що неефективне планування перевезень зернових, зокрема, і щодо маршрутизації, у 2018-2019 р.р. призвело до зниження показників експлуатації рухомого складу:

- обіг вагону-зерновозу виріс на 40% до рівня 14 діб (рис. 2.14);
- швидкість просування вагонів знизилась до 85 км/добу для по вагонних відправок та до 150 км/добу для маршрутних [117];
- продуктивність зменшилась на 35% (рис. 2.15)

При цьому знаходження вагону у русі складає тільки 20% від загальної величини обігу, а 42% – простої на технічних станціях (рис. 2.25). Вказані дані свідчать про недосконалість діючої системи організації перевезення зернових

вантажів, а також та про існуючі резерви скорочення обігу вагонів та покращення показників експлуатації рухомого складу.

Враховуючи, що фактично формувати прямі відправницькі маршрути з зерном здатні близько 70...80 станцій [108, 111], а закриття малодіяльних станцій для відвантаження зерна або введення додаткової плати за подачу-прибирання вагонів на такі станції спричинює втрату залізницею значних обсягів перевезень, виходом з такої ситуації є концентрація навантаження зерна у вагони на вузлових станціях [22, 118, 145]. Концентрація вантажопотоків на меншій кількості (вузлових) елеваторів дозволить спростити взаємодію між залізницею, вантажовідправником і контролюючими органами, а також створить можливості для маршрутизації перевезень. У той же час концентрація вантажопотоків призводить до збільшення витрат на доставку зерна на елеватори автомобільним транспортом. Однак лінійні елеватори, орієнтовані на маршрутизацію вагонопотоків, матимуть можливість забезпечувати меншу вартість доставки зерна в порти і матимуть конкурентні переваги, у порівнянні з елеваторами, які не забезпечують маршрутизацію.

У разі формування експортно-орієнтованої мережі вузлових елеваторів система перевезень зернових може здійснюватися в такий спосіб: польові елеватори, які знаходяться в даному районі виробництва зерна, розташовані хаотично і мають досить малу ємність для формування маршрутних відправок, тому зерно з них в лінійні елеватори буде перевозитися автомобільним транспортом; відповідно лінійні елеватори, які мають всі можливості для формування маршруту, будуть виконувати роль вузлових елеваторів і будуть основним елементом у системі доставки зернових вантажів у морські порти [118, 145].

Вузловий елеватор повинен забезпечувати відвантаження зернового маршруту (54 вагона) за період до 7 діб. За експертними оцінками для забезпечення відвантаження 1 маршруту на добу елеватор повинен відповідати наступним параметрам: ємність одноразового зберігання від 30...50 тис. т і більше; продуктивність системи для завантаження залізничних вагонів 150...200 т/год; наявність накопичувальних залізничних колій з розрахунку (900...1200 м); під'їзна колія, що забезпечує подачу 52...56 вагонів за добу; власний маневровий теп-

ловоз; накопичувальні силоси, по 2 шт. на кожен вагон загальною ємністю 100...130 т. При цьому середня загальна вартість спорудження такого елеватора (включаючи проектування, обладнання, монтаж та будівельні роботи) складе близько 250 USD на 1 т. зберігання [146].

Варто зазначити, що ефективне планування маршрутизації, а також визначення станцій та районів концентрації навантаження зерна вимагає системного підходу та використання сучасних математичних методів оптимізації. В цьому зв'язку в дисертації було поставлене завдання розробити методику формування мережі районів концентрації навантаження зернових вантажів для забезпечення відправницької маршрутизації залізничних перевезень зерна в морські порти України на експорт, а також отримати оцінку ефективності технології залізничних перевезень зерна маршрутами.

4.2 Визначення районів концентрації навантаження зерна

Вибір вузлових елеваторів (станцій) і формування на їх основі районів концентрації навантаження зерна являє собою досить складну багатоваріантну і багатофакторну оптимізаційну задачу. При вирішенні цієї задачі необхідно враховувати існуючу інфраструктуру станцій та елеваторів, можливості її розвитку, наявні та прогнозовані обсяги навантаження зернових, а також додаткові витрати, пов'язані зі зберіганням зернових, навантаженням та формуванням маршрутів, доставкою зерна на вузлові станції автотранспортом, витрати на перевезення зернових залізничними маршрутами в порти [118].

4.2.1 Постановка та формалізація задачі

Задача визначення районів можливої концентрації навантаження зерна та відповідних їм вузлових станцій, на яких буде здійснюватися навантаження зернових маршрутів, може бути сформульована наступним чином.

На залізничному полігоні розташована множина S станцій навантаження зерна $S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_z\}$, де z – загальна кількість станцій навантаження зерна ($z=572$, див розділ 2). Відстані l_{ij} між кожною парою станцій s_i та s_j ($s_i, s_j \in S$) можна представити матрицею відстаней L [147]:

$$L = \begin{vmatrix} 0 & l_{12}\dots & l_{1j}\dots & l_{1z} \\ l_{21} & 0\dots & l_{2j}\dots & l_{2z} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{i1} & l_{i2} & l_{ij}\dots & l_{iz} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ l_{z1} & l_{z2}\dots & l_{zj}\dots & 0 \end{vmatrix} \quad (4.1)$$

Кожен елемент множини S (станція) характеризується рядом параметрів та може бути представлений структурою:

$$s_i = \{I, N, c, q, p, \mathbf{T}, \mathbf{K}\}, \quad (4.2)$$

де I – ідентифікатор станції (код ЄСР) [147];

N – назва станції [147];

c – класність станції;

q – середньорічний обсяг навантаження зерна, ваг.;

p – потужність елеваторної інфраструктури по одночасному зберіганню зерна, тис. т.;

\mathbf{T} – вектор, що характеризує відстань від станції до основних морських портів;

\mathbf{K} – вектор, що характеризує обсяг додаткових капіталовкладень на розвиток інфраструктури станції при реалізації навантаження маршрутів з зерном.

Кожен елемент вектора \mathbf{T} представляє собою номер тарифного поясу, що відповідає відстані від даної станції s_i ($s_i \in S$) до одного з морських портів, де здійснюється перевалка зерна на експорт [42]:

$$\mathbf{T}_i = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}. \quad (4.3)$$

Кожному елементу вектора \mathbf{K} відповідає певна величина додаткових капітальних інвестицій, які необхідні для розвитку інфраструктури станції s_i (елеваторної та залізничної) у випадку завантаження відповідно 1-го, 2-х та 3-х маршрутів з зерном:

$$\mathbf{K}_i = \{k_1, k_2, k_3\}. \quad (4.4)$$

Слід зазначити, що отримання конкретних значень вектора k_1, k_2, k_3 у грошовому еквіваленті для кожної станції представляє досить трудомістке завдання. У зв'язку з цим авторами були використані параметризовані значення k_1, k_2, k_3 у діапазоні $[0; 1]$; при цьому $k_j = 0$ означає, що додаткових коштів на розвиток інфраструктури станції для формування j зернових маршрутів на тиждень не потрібно, а $k_j = 1$ – формування j зернових маршрутів на тиждень на даній станції недоцільно через необхідність значних інвестицій в інфраструктуру, в інших випадках – $0 < k_j < 1$. Конкретні значення параметрів k_1, k_2, k_3 для кожної станції визначаються експертним шляхом на основі аналізу її інфраструктури.

Середньорічні обсяги навантаження зерна q_i для кожної станції визначаються на основі статистичної обробки даних, отриманих з АСКВП-УЗ-Є. Дані про класність c_i кожної станції і потужності її елеваторної інфраструктури p_i можуть бути отримані з ТРА станцій за допомогою АРМ ТРА.

На основі цих вихідних даних необхідно:

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

$$R_u = \{I_r, Q_r, s^*, s_1, s_2, \dots, s_v, \dots, s_f\}, \quad s_v \in S, \quad (4.5)$$

де I_r – ідентифікатор району концентрації;

Q_r – сумарне річне навантаження зерна на всіх станціях району, ваг.

При формуванні районів концентрації навантаження необхідно дотримуватись наступних умов:

- відстань від вузлової U -станції s_u^* району R_u до будь-якої V -станції району s_v ($s_v \in R_u$) не повинне перевищувати максимально встановленої величини l_{\max} (при вирішенні задачі прийнято $l_{\max}=30$ км):

$$(\forall s_v \in R_u)(\forall s_u^* \in R_u)(l_{uv} \leq l_{\max}), \quad v=1, 2, \dots, f_u, \quad u=1, 2, \dots, m \quad (4.6)$$

– сумарний річний обсяг зерна, що навантажується на станціях району концентрації R_u повинен бути не менше мінімально встановленого значення Q_{\min} (при вирішенні задачі прийнято $Q_{\min}=3000$ ваг/рік, що забезпечує навантаження не менше 1 маршруту с зерном на тиждень):

$$(\forall R_u)(Q_r \geq Q_{\min}), u = 1, 2, \dots, m \quad (4.7)$$

I, нарешті, розв'язок задачі вибору вузлових станцій та районів концентрації навантаження зерна має забезпечувати мінімальні загальні витрати, пов'язані з маршрутизацією перевезення зерна на експорт у порти. Укрупнено ці витрати можна представити як

$$\sum_{u=1}^m E_u^{\text{авто}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зб}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зМ}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{зв}} + \sum_{u=1}^m E_u^{\text{інф}} \rightarrow \min \quad (4.8)$$

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

$E_u^{\text{зб}}$ – додаткові витрати на зберігання зерна на вузловій станції району R_u для накопичення маршруту, млн. грн.;

$E_u^{\text{зМ}}$ – витрати на перевезення зерна в порти маршрутами з вузлової станції району R_u , млн. грн.;

$E_u^{\text{зв}}$ – витрати на перевезення зерна в порти вагонними відправками зі станцій району R_u , млн. грн.;

$E_u^{\text{інф}}$ – додаткові приведені витрати, пов'язані з розвитком елеваторної та залізничної інфраструктури вузловій станції району R_u , млн. грн.

4.2.2 Визначення вузлових станцій для навантаження маршрутів

Розв'язання поставленої задачі передбачає поділ початкової множини станцій навантаження зерна S на дві підмножини: 1) S^* , яка включає вузлові станції можливої концентрації навантаження (U -станції); 2) S' , що включає станції, на

яких навантаження зернових маршрутів є недоцільним. З огляду на значну кількість станцій навантаження зерна (понад 500), для отримання зазначених підмножин ефективно використовувати методи кластерного аналізу [148, 149].

Кластерний аналіз являє собою спосіб групування (класифікації) багатовимірних об'єктів, заснований на представленні результатів окремих спостережень точками відповідного геометричного простору з подальшим виділенням груп (кластерів) цих точок (рис. 4.1). При цьому кожен об'єкт характеризується вектором параметрів (показників) $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_N\}$. Завдання методів кластерного аналізу – виділити в початкових багатовимірних даних такі однорідні простори, щоб об'єкти всередині такого простору (групи, кластеру) були «схожі» в певному сенсі один на одного, а об'єкти з різних груп (кластерів) – «не схожі». В даному випадку під «схожістю» розуміється близькість об'єктів в багатовимірному просторі.

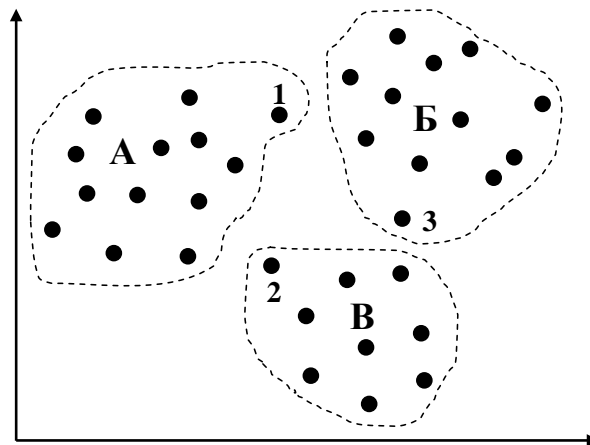


Рисунок 4.1 – Графічна інтерпретація групування об'єктів у кластери

Вибір алгоритму класифікації. Для виділення підмножини вузлових станцій S^* були використані алгоритми прямої класифікації, оскільки вони орієнтовані на виділення кластерів з наперед заданими властивостями, що відповідає умовам поставленої задачі. Окрім того, алгоритми прямої класифікації мають ряд переваг, до яких слід віднести простоту та ясність класифікації, а також невисоку трудомісткість. Алгоритми прямої класифікації можна розділити на агломеративні (стратегія об'єднання кластерів) та дивізивні (стратегія поділу) [149].

В агломеративних алгоритмах, на відміну від дивізивних, кожен об'єкт, що

класифікується, на початку представляє собою окремий кластер. На кожному кроці алгоритму відбувається об'єднання двох найбільш близьких кластерів. Це відбувається до тих пір, поки число кластерів не досягне певного, в більшості випадків, заздалегідь заданого значення (в даному випадку – це два кластери – підмножини S^* та S'). Дивізивні алгоритми доцільно застосовувати, коли вихідну сукупність необхідно розділити на досить велику кількість кластерів (більше 10) [149], що не відповідає умовам поставленої задачі класифікації станцій навантаження зерна. Окрім того, дивізивні алгоритми досить нестійкі при класифікації «спірних» об'єктів, що знаходяться на кордонах кластерів (об'єкти 1, 2, 3 на рис. 4.1). У зв'язку з цим, для вирішення поставленої задачі класифікації станцій навантаження зерна була використана агломеративна стратегія.

Визначення інформативних параметрів. Для ефективної роботи будь-якого методу класифікації, зокрема кластерного аналізу, та отримання достовірних результатів дуже важливо визначити інформативні параметри, за якими виконується класифікація об'єктів (в даному випадку – станцій навантаження зерна). Для класифікації станцій навантаження зерна s_i використовуються відповідні вектори даних (4.2). Однак, як зазначено в [149], зі збільшенням кількості показників, які використовуються для класифікації об'єктів, її якість знижується. У зв'язку з цим серед множини параметрів, що характеризують вантажну станцію (4.2), необхідно визначити найбільш значущі (інформативні).

У зв'язку з цим на основі методів багатовимірною статистичного аналізу (зокрема, множинних порівнянь Шеффе [150]), а також з урахуванням експертних оцінок були виділені наступні інформативні параметри (4.2): класність станції – c , річний обсяг навантаження зерна – q , наявна потужність елеваторної інфраструктури – p , додаткові витрати на розвиток елеваторної та залізничної інфраструктури для забезпечення навантаження зернових маршрутів – k_1, k_2, k_3 .

Стандартизація значень інформативних параметрів. Очевидно, що обрані для класифікації інформативні параметри станцій вимірюються в різних одиницях та мають різні діапазони значень. При цьому параметри з великим розмахом значень надаватимуть домінуючі вплив на результати класифікації. Разом з тим,

методи кластерного аналізу передбачають, що значення всіх показників класифікуються об'єктів повинні мати одні й ті ж одиниці вимірювання. В зв'язку з цим необхідна стандартизація значень інформативних параметрів вантажних станцій з метою приведення їх до безрозмірних величин. Вибір методу стандартизації являє собою досить складну задачу і суттєво впливає на якість класифікації. Це пояснюється тим, що вибір методу може сильно змінювати геометрію вихідного N -вимірного простору [148, 149]. У дисертації було виконане дослідження ефективності декількох методів стандартизації даних, що розглянуті у роботах [149, 151], розрахункові вирази для яких наведено у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – 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	$X'_{i,j} = \frac{X_{i,j} - X_j^{\min}}{R_j}$

У табл. 4.1 прийняті наступні позначення: $X_{i,j}$, $X'_{i,j}$ – значення j -го показника для i -го об'єкта (станції) множини, відповідно, до і після стандартизації; X_j^{\min} , X_j^{\max} – відповідно, мінімальне та максимальне значення j -го показника серед всіх об'єктів множини; σ_j^2 , \bar{X}_j , R_j – відповідно, дисперсія, середнє значення та розмах j -го показника у множині ($R_j = X_j^{\max} - X_j^{\min}$).

Експертним шляхом була виконана «еталонна» класифікація вибірки з 35 станцій навантаження зерна на два кластери: U -станції та V -станції. Ефективність кожного з методів стандартизації (табл. 4.1) оцінювалася за двома критеріями: ймовірності помилкової класифікації – $P_{\text{пом}}$ (у порівнянні з «еталонною» класифікацією) та величиною сумарної внутрішньої групової дисперсії – $D_{\text{гр}}$. Дослідження, виконані на ЕОМ за допомогою пакету «Statistica», показали, що найкращі результати ($P_{\text{пом}} = 5\%$) отримані при стандартизації даних на розмах (метод 1),

найгірші результати отримані при стандартизації на дисперсію (метод 2) [118].

Вибір міри відмінності об'єктів. При класифікації істотну роль відіграє також вибір міри відмінності між окремими об'єктами. Міра відмінності між двома об'єктами a та b представляє собою величину (відстань) d_{ab} , яка тим більше, чим менше подібність об'єктів a та b . При виборі методу класифікації виконано порівняння 6 мір відмінності з метою визначення найбільш придатної для вирішення поставленої задачі класифікації станцій навантаження зерна [148, 151], а саме: евклідова міра, манхетенська міра, міра Брея-Кертиса, міра Чебишева, канберрівська міра, ступенева міра (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Міри відмінності при класифікації об'єктів

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

В табл. 4.2 x_{aj} , x_{bj} представляють собою значення j -го показника для об'єктів (станцій) a та b відповідно, а p та r – параметри, що задаються дослідником.

Для вибору найбільш ефективної міри відмінності за допомогою пакету «Statistica» був виконаний їх порівняльний аналіз при класифікації «еталонної» множини станцій. Ефективність кожної міри відмінності також оцінювалася за показниками $P_{\text{пом}}$ та $D_{\text{гр}}$. Дослідження ефективності мір відмінності показало, що найкращу якість класифікації станцій навантаження зерна отримано при ви-

користанні «канберрівської» міри ($P_{\text{пом}} = 3..5\%$). Найгірші результати отримані при використанні ступеневої міри ($P_{\text{пом}} = 30..35\%$).

Визначення ефективної стратегії об'єднання. На кожному кроці агломеративного алгоритму кластерного аналізу об'єднуються два кластери, відстань між якими мінімально. При цьому виникає проблема визначення відстаней між окремими кластерами, як вирішується наступним чином [151].

Нехай є дві групи (кластерів) об'єктів (станцій) U та V , кількість елементів в яких становить відповідно n_u та n_v , а відстань між цими кластерами d_{uv} . Припустимо, що d_{uv} – це мінімальне серед усіх можливих відстаней між усіма іншими кластерами. В цьому випадку кластери U та V об'єднуються в один кластер W з кількістю елементів $n_w = n_u + n_v$. Розглянемо деякий кластер Y , який включає n_y елементів. Якщо перед об'єднанням кластерів U та V відомі відстані d_{uy} та d_{vy} , то відстань між новим кластером W та кластером Y складе:

$$d_{wy} = \alpha_u \cdot d_{uy} + \alpha_v \cdot d_{vy} + \beta \cdot d_{uv} + \gamma \cdot |d_{uy} - d_{vy}| \quad (4.9)$$

де α_u , α_v , β , γ – параметри, що визначають сутність стратегії об'єднання [151].

При визначенні найбільш ефективного алгоритму класифікації виконано дослідження декількох стратегій об'єднань: «ближнього сусіда», «далекого сусіда», «групового середнього», «центроїдної стратегії», «квадратичної стратегії», «гнучкої стратегії», стратегії Варда [151, 152].

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

Таким чином, з використанням агломеративного алгоритму кластерного аналізу, що базується на стратегії об'єднання Варда та «канберрівській» мірі відмінності об'єктів, вихідна множина станцій навантаження зерна S була розділена

на дві підмножини – S^* , яка включає вузлові станції можливої концентрації навантаження (U -станції) – всього 43 станції, та S' , що включає станції, на яких навантаження зернових маршрутів недоцільне – всього 529 станцій [118, 145].

4.2.3 Визначення районів можливої концентрації навантаження зерна

На основі знайденої підмножини вузлових станцій S^* формуються райони можливої концентрації навантаження зерна R_u (4.5), виходячи з умови територіальної близькості V -станцій до вузлової U -станції (4.6). Для кожної вузлової станції s_u^* на першому кроці процедури формування відповідного їй району R_u (4.5): $Q_r = q_u, f = 0, (Q_r \in R_u, f \in R_u, q_u \in s_u^*)$. Далі аналізується i -ий рядок матриці відстаней L (4.1), що відповідає станції s_u^* , і ті станції $s_j \in S$ ($j=1, 2, \dots, z$), для яких умова $l_{ij} \leq l_{\max}$ (4.6) справедлива, включаються до множини (району) R_u . При цьому для району R_u виконується перерахунок параметрів:

$$Q_r = Q_r + q_j, f = f + 1, (q_j \in s_j). \quad (4.10)$$

За допомогою цієї процедури була сформована множина $R = \{R_1, R_2, \dots, R_u, \dots, R_m\}$, яка включає 43 райони ($m=43$) можливої концентрації навантаження зерна (табл. 4.3) [118].

Таблиця 4.3 – Райони можливої концентрації навантаження зерна

№ п/п	Область	Вузлова станція s_u^*	Сумарне навантаження, ваг/рік	Навантаження на станції s_u^* , ваг/рік	Станції району концентрації навантаження R_u
1	2	3	4	5	6
1	Чернігівська	Ліновиці	9831	2288	Прилуки, Пирятин
2	Черкаська	Драбове-Барятинська	8897	2905	Пальміра, Мар'янівка, Гребінка
3	Чернігівська	Прилуки	8496	5675	Ліновиці, Галка
4	Полтавська	Гребінка	8325	365	Драбове-Барятинська, Мар'янівка, Пирятин, Лазорки
5	Полтавська	Юсківці	8175	1077	Сула, Біловоди, Андреяшівка, Лохвиця
6	Черкаська	Умань	8148	1151	Христинівка, Поташ
7	Черкаська	Пальміра	8119	3089	Драбове-Барятинська, Золотоноша-1
8	Полтавська	Ромодан	7895	3110	Миргород, Хорол, Сенча
9	Полтавська	Пирятин	7708	1868	Мар'янівк, Ліновиці, Лазорки, Гребінка

Таблиця 4.3 – Продовження

1	2	3	4	5	6
10	Черкаська	Мар'янівка	7676	2538	Драбове-Барятинська, Пирятин, Гребінка
11	Черкаська	Носівка	7353	2426	Ніжин, Бобровиці
12	Сумська	Торопилівка	7121	5016	Суми, Сироватка, Баси, Головашівка
13	Сумська	Суми	7121	1047	Торопилівка, Сироватка, Баси, Головашівка
14	Сумська	Сироватка	7010	590	Баси, Торопилівка, Суми, Боромля
15	Черкаська	Христинівка	6876	5134	Умань, Монастирище
16	Полтавська	Миргород	6813	3273	Ромодан, Гоголеве, Мелашенкове
17	Полтавська	Сула	6744	4417	Юсківці, Андреяшівка, Лохвиця, Сенча
18	Кіровоградська	Олександрія	5875	732	Користівка, Королівка, Пантаївка, Щаслива
19	Черкаська	Монастирище	5725	591	Христинівка
20	Кіровоградська	Королівка	5632	708	Щаслива, Користівка, Олександрія
21	Сумська	Біловоди	5495	1835	Ромни, Юсківці, Андреяшівка
22	Черкаська	Золотоноша 1	5214	2125	Золотоноша 1, Пальміра
23	Полтавська	Хорол	4768	1108	Ромодан, Веселий Поділ, Петрівка
24	Сумська	Ромни	4418	2154	Біловоди, Андреяшівка
25	Кіровоградська	Новоукраїнка	4221	1537	Помічна, Капустине, Плетений Ташлык
26	Київська	Устинівка	4106	866	Фастів-1, Біла Церква
27	Полтавська	Селещина	4105	1683	Карлівка, Божків
28	Полтавська	Карлівка	4020	2251	Селещина, Ланна
29	Київська	Яготин	3911	3911	–
30	Черкаська	Городище	3823	418	Корсунь, Сигнаївка, Цвіткове
31	Кіровоградська	Користівка	3758	2075	Олександрія, Королівка, Пантаївка
32	Вінницька	Крижопіль	3640	1197	Вапнярка, Княжеве, Попелюхи
33	Луганська	Старобельск	3570	3570	–
34	Кіровоградська	Помічна	3498	1563	Новоукраїнка, Людмилівка
35	Полтавська	Решетилівка	3494	3064	Федунка, Сагайдак, Братешки, Уманцевка
36	Вінницька	Вапнярка	3423	1494	Княжеве, Крижопіль
37	Вінницька	Княжеве	3423	732	Вапнярка, Крижопіль
38	Хмельницька	Кам'янець-Подільський	3248	3248	–
39	Харківська	Савинці	3163	1955	Закомельська, Балаклея
40	Харківська	Закомельська	3149	824	Савинці, Ізюм
41	Полтавська	Глобине	3108	2237	Веселий Поділ, Рублівка
42	Черкаська	Кам'янка	2948	880	Ім. Тараса Шевченка, Фундуклівка
43	Кіровоградська	Капітанівка	2833	350	Сигнаївка, Новомиргород, Сердюківка

Всього до складу $m = 43$ районів увійшли $n = 82$ станції: 43 вузлових (U -станцій) та 39 невузлових (V -станцій). По іншим невузловим станціям умова (4.6) 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 (4.7), тобто достатності сумарного річного обсягу навантаження зерна на станціях району для відправки з відповідної вузлової станції s_u^* хоча б одного зернового маршруту на тиждень. Якщо умова (4.7) не виконується, то та-

кий район виключається з подальших розрахунків. Як видно з табл. 4.3, сумарні обсяги річної навантаження зерна в районах концентрації на базі станцій Кам'янка та Капітанівка складають менше $Q_{\min} = 3000$ ваг/рік; тому райони R_{42} та R_{43} виключаються. Таким чином, у складі $m = 41$ району залишається $n = 76$ станцій (41 вузлова U -станція та 35 невузлових V -станцій) із загальним обсягом навантаження 15 млн. т. зернових на рік. Слід також зазначити, що деякі райони включають тільки вузлові станції: R_{29} (Яготин), R_{33} (Старобільськ) та R_{38} (Кам'янець-Подільський), власне навантаження зерна на яких перевищує Q_{\min} .

4.2.4 Визначення ефективних районів концентрації навантаження зерна

Аналіз табл. 4.3. показує, що більшість отриманих множин R_u ($u=1, 2, \dots, 41$) є пересічними, тобто один або кілька елементів (станцій) одної множини (району) є одночасно елементами інших множин (районів). Наприклад, невузлова станція Лазорки входить до районів R_4 (Гребінка) та R_9 (Пирятин), а вузлова станція Ліновиці, окрім району R_1 , входить також до складу районів R_3 (Прилуки) і R_9 (Пирятин). Разом з тим є і кілька непересічних множин, елементи яких входять до складу тільки однієї множини, наприклад, R_{11} (Носівка), R_{29} (Яготин).

Таким чином, в отриманій множині R необхідно виділити таку підмножину R^* , усі m^* елементів якої (райони концентрації навантаження R_u , $u=1, 2, \dots, m^*$) були б взаємно непересічними множинами. При цьому сумарний обсяг навантаження зерна у підсумковій підмножині R^* повинен бути максимальним, а загальна величина витрат, пов'язаних з концентрацією навантаження зерна та формуванням зернових маршрутів повинна бути мінімальна (4.8), тобто:

$$\begin{cases} Q(R^*) \rightarrow \max \\ E(R^*) \rightarrow \min \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \sum_{i=1}^{m^*} Q_{r(i)} \rightarrow \max \\ \sum_{i=1}^{m^*} E_i \rightarrow \min \end{cases} \quad (4.11)$$

Вказана підмножина $R^* \subset R$ являє собою таке об'єднання непересічних множин R_u^* ($u=1, 2, \dots, m^*$), для якого цільова функція (4.11) досягає екстремуму.

Для вирішення поставленої задачі (4.11) розроблена наступна процедура [118, 145]. Спочатку в вихідній множині R (табл. 4.3) виділяються непересічні і пересічні підмножини R_u ($u=1, 2, \dots, m$). З цією метою може бути використаний один з DSU-алгоритмів (disjoint set union algorithm) [153, 154]. Результатом роботи такого алгоритму є матриця $G = |g_{uv}|$ ($u=1, 2, \dots, m; v=1, 2, \dots, m$), в якій кожному рядку u і стовпчику v відповідає певна множина (район концентрації) R_u та R_v , відповідно (табл. 4.3), а кожен елемент матриці g_{uv} представляє собою список станцій s_i ($s_i \in S$), які одночасно входять до складу районів (множин) R_u та R_v . У разі, якщо $g_{uv} = \{\emptyset\}$, множини R_u та R_v є непересічними і включаються в підсумкову підмножину $R^* \subset R$. Якщо ж $g_{uv} \neq \{\emptyset\}$, то множини R_u та R_v є пересічними; при цьому можливі наступні варіанти:

- загальними елементами множин R_u та R_v є тільки вузлові U -станції (наприклад, райони концентрації R_{32} – Крижопіль, R_{36} – Вапнярка, R_{37} – Княжеве);
- загальними елементами множин R_u та R_v є тільки невузлові V -станції (наприклад, станція Андріяшівка для районів R_{17} – Сула та R_{24} – Ромни);
- загальними елементами множин R_u та R_v є і вузлові, і невузлові станції (наприклад, райони R_{12} – Торopilівка та R_{24} – Суми).

Необхідно виконати перерозподіл загальних елементів для всіх пар пересічних множин R_u та R_v , і на їх основі сформувані такі множини, щоб цільова функція (4.11) досягала екстремуму. Поставлена задача (4.11) може бути вирішена методами теорії оптимального розбиття множин [155]; однак ці методи досить трудомісткі та вимагають значних обсягів обчислень. Специфіка ж даної задачі дозволяє отримати необхідний розв'язок більш простими методами [118, 145].

Перетворимо матрицю G у матрицю $X = |x_{ut}|$ ($u=1, 2, \dots, m; t=1, 2, \dots, n$), в якій кожному рядку u відповідає певна множина (район) R_u (табл. 4.3), а кожному стовпчику t – певна U -станція або V -станція. Кожен елемент матриці представляє собою булеву змінну $x_{ut} = \{0; 1\}$, яка приймає значення $x_{ut} = 1$, якщо станція s_t може бути включена до складу району концентрації R_u ($s_t \in R_u$), и $x_{ut} = 0$ в іншому випадку ($s_t \notin R_u$). Кожній станції s_t відповідає певне значення середньорічного обсягу навантаження зерна q_t (4.2), а також деякий параметр e_{ut} , що характеризує величину додаткових витрат при включенні станції s_t до району концентрації наван-

таження R_u . Цільова функція (4.11) при цьому приймає наступний вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \rightarrow \max \\ \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut} x_{ut} \rightarrow \min \end{array} \right. \Rightarrow \left(\begin{array}{l} \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \\ - \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut} x_{ut} \end{array} \right) \rightarrow \max \quad (4.12)$$

Слід зазначити, що визначення конкретних значень параметру e_{ut} для кожної станції навантаження зерна безпосередньо в грошовому вираженні є досить складним та трудомістким завданням. У зв'язку з цим була прийнята параметризована шкала значень $e_{ut} \{1; 10\}$, при якій $e_{ut} = 1$ відповідає мінімальному рівню додаткових витрат при включенні 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 (4.12):

$$(\forall s_t) \left(\sum_{u=1}^m x_{ut} \leq 1 \right), t = 1, 2, \dots, n \quad (4.13)$$

$$(\forall R_u^*) \left(\sum_{t=1}^n q_t x_{ut} \geq Q_{\min} \vee \sum_{t=1}^n q_t x_{ut} = 0 \right), u = 1, 2, \dots, m \quad (4.14)$$

$$(\forall s_t \notin R_u) (x_{ut} = 0), u = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, n \quad (4.15)$$

Обмеження (4.13) означає, що кожна станція s_t може бути включена не більше ніж до одного району концентрації, однак може не входити до жодного району. Обмеження (4.14) визначає, що сумарний обсяг навантаження для кожного району концентрації повинен бути не менше величини Q_{\min} (4.7), в іншому ж випадку такий район виключається, а станції, що входять в нього, перерозподіляються між іншими районами. Обмеження (4.15) виключає можливість додавання станції s_t до району, якщо це не передбачене в початковій множині R (табл. 4.3).

Задача (4.12)-(4.15) у наведеній постановці є задачею багатокритеріальної (векторної) оптимізації [156]; при цьому особливості задачі дозволяють віднести її до задач цілочисельного лінійного програмування з булевими змінними [157], для вирішення якої доцільно перейти до однокритеріальної оптимізацій-

ної задачі. З цією метою використано метод лінійної згортки з нормуванням критеріїв [158]; цільова функція (4.12) при цьому приймає наступний вигляд:

$$(w_q \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n q_t^0 x_{ut} - w_e \sum_{u=1}^m \sum_{t=1}^n e_{ut}^0 x_{ut}) \rightarrow \max \quad (4.16)$$

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

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

Отримана задача була вирішена за допомогою симплекс-методу, модифікованого для задач з булевими змінними [157]. У результаті була сформована підмножина R^* , яке є об'єднанням непересічних множин; кожне така множина відповідає певному району, концентрація навантаження зерна в якому є найбільш ефективною (табл. 4.4) [118].

Таблиця 4.4 – Ефективні райони концентрації навантаження зерна

№ п/п	Вузлова станція s_u^*	Станції району концентрації навантаження R_u^*	Сумарне навантаження, ваг/рік
1	Драбове-Барятинська	Мар'янівка, Гребінка	5808
2	Прилуки	Галка	6208
3	Умань	Поташ	3014
4	Ромодан	Хорол, Сенча	4622
5	Пирятин	Ліновиці, Лазорки	4805
6	Носівка	Ніжин, Бобровиці	7353
7	Торопилівка	Суми, Сироватка, Баси, Головашівка	7121
8	Христинівка	Монастирище	5725
9	Миргород	Гоголеве, Мелашенкове	3703
10	Сула	Юсківці, Лохвиця	5911
11	Олександрія	Користівка, Королівка, Пантаївка, Щаслива	5875
12	Золотоноша-1	Золотоноша-1, Пальміра	5414
13	Ромни	Біловоди, Андреяшівка	4418
14	Устинівка	Фастів-1, Біла Церква	4106
15	Карлівка	Селещина, Ланна	4020
16	Яготин	–	3911
17	Городище	Корсунь, Сигнаївка, Цвіткове	3823
18	Крижопіль	Вапнярка, Княжеве, Попелюхи	3640
19	Старобільськ	–	3570
20	Помічна	Новоукраїнка, Людмилівка	3498
21	Решетилівка	Федунка, Сагайдак, Братешки, Уманцевка	3494
22	Кам'янець-Подольський	–	3248
23	Закомельська	Савинці, Ізюм	3149
24	Глобине	Веселий Поділ, Рублівка	3108

У підсумковому рішенні до складу 24 районів концентрації навантаження зерна включено 70 станцій, що при мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний обсяг навантаження зерна маршрутами 109 тис. ваг або близько 7,5 млн. т. на рік, що становить близько 23% від загального обсягу перевезень зерна залізницями України.

4.3 Оцінка ефективності організації руху зернових маршрутів

4.3.1 Організація руху маршрутних поїздів з зерновими вантажами за розкладом

Однією з сучасних проблем залізничних перевезень в Україні є низька швидкість доставки вантажів, що наразі складає близько 10 км/год; для зерна цей показник ще нижчий – близько 4...5 км/год [117]. Варто зазначити, що Правилами перевезень вантажів залізничним транспортом України встановлена швидкість доставки вантажів при повагонній відправці 8,3 км/год (200 км/доб), а при маршрутній 13,3 км/год (320 км/доб) [29]. Разом з тим, основною причиною низької швидкості доставки вантажів є нерівномірність вантажних залізничних перевезень, що обумовлюється цілим рядом факторів, серед яких, зокрема, недотримання вантажними поїздами встановленої швидкості руху на ділянках [139, 159]. Перспективним напрямком вирішення вказаної проблеми є впровадження технології руху вантажних поїздів за розкладом (за «твердими» нитками графіку).

Варто зазначити, що технологія руху вантажних поїздів за розкладом широко впроваджена на залізницях США, Канади та країн ЄС, зокрема, в США за «твердим» графіком організований рух близько 80% вантажного поїздопоток [139, 160]. В цих країнах розроблено відповідні системи тарифікації ниток графіка в залежності від категорії лінії, параметрів поїзда, часу та дати відправлення тощо [161]. Активно впроваджується рух вантажних поїздів за розкладом і в Російській Федерації [162-164]. Згідно з «Комплексною програмою поетапного переходу на організацію руху вантажних поїздів за розкладом на 2011-2015 р.р.» на залізницях РФ планувалось охопити цією технологією до 80% вантажних поїздів [162].

В Україні в «Інструкції зі складання графіка руху поїздів» також передбачається можливість пропуску частини вантажного поїздопотоків за розкладом [165]. Однак тільки у 2019 р. Укрзалізниця запровадила для відправників послугу – організацію руху маршрутних поїздів за розкладом [125, 166]. Щомісяця за замовленнями відправників фахівці ЦТЛ розробляють та оприлюднюють розклад руху маршрутних поїздів (РРМП) [166]. Тариф на перевезення (інфраструктурна складова) за РРМП на 20% вище від звичайного, встановленого [42]. При цьому за порушення часу прибуття маршрутного поїзда перевізник сплачує відправнику штраф у розмірі 1% за кожну годину порушення строку, починаючи з 5 години запізнення; разом з тим відправник, у випадку неперед'явлення ним маршрутного поїзда до відправлення у встановлений час, сплачує штраф у розмірі 1500 грн. за вагон, виходячи з узгодженої кількості вагонів у маршрутному поїзді [166]. Щомісяця за РРМП Укрзалізниця планує відправляти 400...500 маршрутних поїздів [125].

Аналіз досвіду організації руху вантажних поїздів за розкладом у РФ показує, що основний ефект при цьому досягається за рахунок покращення показників використання локомотивів та локомотивних бригад і пов'язаний в основному з економією витрат перевізника [167]. Разом з тим, сучасні умови функціонування залізниць України, серед яких поява в достатній кількості кільцевих маршрутів руху приватних вагонів та більш висока плата за користування ними, а також істотний рівень зношення локомотивного парку Укрзалізниці, створюють умови для того, щоб перевезення вантажів на окремих напрямках за розкладом були економічно вигідними не тільки для перевізника, а і для вантажовідправників та власників вагонів. У зв'язку з цим досить актуальним завданням в даний час є оцінка ефективності переведення вантажних поїздопотоків на рух за розкладом [167, 168].

Принципово існує декілька напрямків впровадження організації руху вантажних поїздів за розкладом [169]. По-перше, така технологія використовується при здійсненні технологічних перевезень цінних та швидкопсувних вантажів, а також інших вантажів, для яких актуальна доставка вантажу «точно в строк». По-друге, доставка вантажів за розкладом застосовується для організації роботи ма-

лодіяльних ліній, де важлива задача переведення роботи об'єктів інфраструктури залізничного транспорту на регламентований час роботи. По-третє, використання «твердих» ниток графіку може бути ефективним при виконанні масових перевезень вантажів зі стійкими в часі обсягами, для яких актуальною є задача скорочення обігу вагонів та загальної вартості перевезення.

Зерно складає 10...12% у загальних обсягах перевезення залізниць України і є масовим вантажем, обсяги перевезення якого є стабільними протягом майже всього року. В останній час Укрзалізниця активно впроваджує технологію перевезення зерна маршрутами, зокрема і відправницькими. Однак, як показує аналіз, експлуатаційні показники використання рухомого складу (зокрема, обіг вагона-зерновоза та його продуктивність), не зважаючи на це, демонструють тенденцію до погіршення. В зв'язку з цим актуальним питанням наразі є дослідження ефективності організації руху зернових маршрутів, зокрема, і за розкладом.

4.3.2 Оцінка ефективності маршрутизації перевезень зернових вантажів з використанням імітаційного моделювання

Оцінка ефективності різних технологій організації залізничних перевезень зерна у порти була виконана з використанням розробленої імітаційної моделі (див. розділ 3). При цьому були розглянуті наступні варіанти [141, 145]:

- варіант 1: відправлення зерна вагонними відправками;
- варіант 2: ступінчата маршрутизація перевезень зерна (формування маршрутів на сортувальних станціях);
- варіант 3: перевезення зерна прямими відправницьким маршрутами;
- варіант 4: організація перевезень зерна відправницькими маршрутами за розкладом із забезпеченням точного часу відправлення поїздів за рахунок створення резервів часу при розробці графіка руху;
- варіант 5: організація перевезень зерна відправницькими маршрутами за розкладом із забезпеченням точного часу відправлення поїздів за рахунок жорсткого нормування технологічних операцій на станціях.

Технологія організації перевезень визначається параметром U (3.22) імітаційної моделі залізничного напрямку. Цей параметр (див. п. 3.3.1) визначає методи моделювання тривалості знаходження вагонів у різних фазах обігу в залежності від варіанту технології (табл. 4.5) [141].

Таблиця 4.5 – Методи моделювання тривалості фаз обігу вагону-зерновоза

Фази обігу вагону	Варіанти технології				
	1	2	3	4	5
Простій на станції навантаження	2	2	3	3	1
Рух завантаженого вагону до технічної станції	0	2	0	0	0
Простій завантаженого на технічній станції	0	3	0	0	0
Рух завантаженого вагону до припортової станції	2	2	2	1	1
Простій на припортовій станції	2	3	3	3	1
Рух порожнього вагону до технічної станції	0	2	0	0	0
Простій порожнього вагону на технічній станції	0	3	0	0	0
Рух порожнього вагону до станції навантаження	2	2	2	1	1

Після закінчення вагоном чергового циклу обігу фіксуються тривалості перебування його в кожній з підсистем. Далі ці дані використовуються для статистичного аналізу процесу перевезення зерна зі станцій навантаження в морські порти. По кожному варіанту визначено обіг вагону та необхідна кількість маршрутних поїздів та робочий парк вагонів.

Кількість маршрутів, які повинні відправлятися зі станцій концентрації вагонопотоків протягом тижня визначається за формулою:

$$N_{\text{марш}} = \frac{N_{\text{заг}}}{m_{\text{ваг}} \cdot N_{\text{тиж}}}, \quad (4.17)$$

де $N_{\text{заг}}$ – загальна кількість вагонів, які концентруються на станціях навантаження протягом року;

$m_{\text{ваг}}$ – кількість вагонів в маршрутному поїзді (прийнято 52 вагона);

$N_{\text{тиж}}$ – кількість тижнів у році.

Кількість вагонів, які охоплені маршрутними перевезеннями на станціях концентрації вагонопотоків протягом року по «твердим» ниткам графіка руху визначається за формулою:

$$n_{\text{марш}} = N_{\text{марш}} \cdot m_{\text{ваг}} \cdot N_{\text{тиж}} \quad (4.18)$$

Робочий парк вагонів для забезпечення перевезення відправницькими маршрутами розраховується як:

$$n_{\text{марш}}^{\text{роб}} = k_n \cdot k_{\text{рез}} \frac{N_{\text{марш}} \cdot m_{\text{сост}} \cdot \Theta_{\text{марш}}}{7} \quad (4.19)$$

де k_n – коефіцієнт нерівномірності перевезень ($k_n=1,28$, див. розділ 2).

$k_{\text{рез}}$ – коефіцієнт, що враховує резерв робочого парку (прийнято $k_{\text{рез}}=1,04$).

$\Theta_{\text{марш}}$ – оборот маршрутного поїзда, діб.

Кількість вагонів, які не охоплюються маршрутизацією з зерновими вантажами на станціях концентрації вагонопотоків протягом року і перевезення яких відбувається вагонними відправками, визначаються за формулою:

$$n_{\text{поваг}} = N_{\text{заг}} - n_{\text{марш}} \quad (4.20)$$

Робочий парк вагонів для забезпечення тижневого обсягу перевезень при повагонних відправках розраховується за формулою:

$$n_{\text{поваг}}^{\text{роб}} = k_n \cdot k_{\text{рез}} \frac{n_{\text{поваг}} \cdot \Theta_{\text{поваг}}}{365} \quad (4.21)$$

де $\Theta_{\text{поваг}}$ – обіг вагонної відправки, діб;

Середній річний обсяг перевезеного вагоном вантажу визначається як:

$$Q_{\text{річ}} = \frac{(365 - T_{\text{рем}}) \cdot q_{\text{ст}}}{\Theta} \quad (4.22)$$

де $T_{\text{рем}}$ – загальна тривалість ремонтів та перерв у роботі вагону (прийнято 20 діб);

$q_{\text{ст}}$ – середня маса вантажу у вагоні (прийнято 66 т).

Середньодобова продуктивність вагону:

$$P_{\text{доб}} = \frac{S_{\text{ван}} \cdot q_{\text{ст}}}{\Theta} \quad (4.23)$$

де $S_{\text{ван}}$ – довжина рейсу у завантаженому стані, км.

Підсумкові значення експлуатаційних показників $Q_{\text{річ}}$ та $P_{\text{доб}}$ по кожному варіанту технології визначаються як середньозважені величини між показниками маршрутизованого та немаршрутизованого вагонопотоку.

Оцінка ефективності розглянутих варіантів виконана на прикладі перевезення зерна на припортову станцію Чорноморська (Одеська залізниця) зі станції Торопилівка (Південної залізниці), що була визначена як станція концентрації навантаження для станцій Торопилівка, Суми, Сироватка, Баси, Головашівка (див. табл. 4.4). Загальний обсяг навантаження зерна в цьому районі концентрації становить 7121 ваг на рік.; відстань між станціями 790 км [147].

Для отримання значень обігу вагона для розглянутих варіантів організації технології перевезення зерна була виконана серія експериментів з імітаційною моделлю за допомогою комп'ютерної програми «Nitki.exe» (див. додаток E).

Аналіз результатів моделювання руху вагонів при перевезенні зерна показує, що при вагонних відправках зернових (варіант 1) обіг вагонів на маршруті Торопилівка – Чорноморська становить 8,3 доби; при ступінчатій маршрутизації перевезень на сортувальній станції (варіант 2) обіг може бути скорочений до 7,3 доби.

Концентрація вантажопотоків на станції Торопилівка та організація відправницької маршрутизації з цієї станції (варіант 3) дозволяє скоротити обіг вагонів до 6,0 діб. Відправлення маршрутів зі станції Торопилівка за розкладом при збереженні випадкової тривалості виконання технологічних операцій на станціях та забезпечення дотримання графіка обороту составів за рахунок резервів часу (варіант 4) не є ефективним методом скорочення обігу вагонів і призводить до збільшення його тривалості до 10,8 діб. У той же час при жорсткому контролі часу виконання технологічних операцій (варіант 5) обіг вагонів може бути скорочений до 3,5 доби при організації навантаження маршрутів через добу.

Підсумкові показники ефективності кожного з варіантів технології (варіант 4 не розглядався) перевезення зерна на маршруті Торопилівка – Чорноморська наведено у табл. 4.6. В табл. 4.6 також розраховано економію витрат на річну оренду вагонів та придбання нового рухомого складу при використанні кожного з варіантів удосконалення технології перевезення зерна, у порівнянні з повагонними відправками; при цьому вартість добової оренди вагону-зерновоза прийнята 50 USD, а вартість нового вагону-зерновоза – 60 тис. USD.

Таблиця 4.6 – Показники ефективності варіантів технології перевезення зерна

Варіант	Обіг, діб	$N_{\text{марш}}$	$n_{\text{марш, ваг}}$	$n_{\text{поваг, ваг}}$	Робочий парк, ваг			Економія, млн. USD		$Q_{\text{річ, т/рік}}$	$P_{\text{доб, т-км/доб}}$
					$n_{\text{марш}}^{\text{роб}}$	$n_{\text{поваг}}^{\text{роб}}$	$n^{\text{роб}}$	оренда	придбання		
1	8,3	0	0	7121	0	216	216	0	0	2743	6282
2	7,3	0	0	7121	0	190	190	0,47	1,56	3119	7142
3	6,0	2	5408	1713	119	46	164	0,94	3,08	3503	8021
5	3,5	2	5408	1713	69	46	115	1,84	6,04	5011	11475

Виконані за допомогою розробленої імітаційної моделі дослідження показали, що застосування відправницької маршрутизації дозволяє скоротити обіг вагона на 27%, а застосування «твердого» графіка руху відправницьких маршрутів з чітким дотриманням технологічного процесу на станціях навантаження і вивантаження дозволяє скоротити обіг вагона на 57%, у порівнянні з перевезенням вагонними відправками; продуктивність вагонів при цьому зростає на 27% та 82% відповідно. Також скорочується і робочий парк зерновозів (на 24% та 47% відповідно), необхідний для здійснення перевезень, що дозволяє оновити парк вантажних вагонів і збільшити навантажувальні здатності елеваторів при збереженні витрат на перевезення зерна на існуючому рівні (рис. 4.2).



Рисунок 4.2 – Порівняння показників експлуатації вагонів-зерновозів на маршруті Торопилівка – Чорноморська-ТІС в залежності від технології перевезень

4.3.3 Розробка графіку руху зернових маршрутів та оцінка його техніко-експлуатаційних показників

З використанням імітаційної моделі була виконана оцінка ефективності руху зернових поїздів за розкладом на прикладі поставок зерна від деяких станцій концентрації навантаження (табл. 4.4) до одного з великих морських портів України (порт ТІС, станція примикання Чорноморська). Відстань перевезення між станціями навантаження та станцією Чорноморська (ТІС), а також тривалість руху маршрутних поїздів як в порожньому, так і завантаженому стані, що визначена за результатами моделювання, наведені в табл. 4.7 [145].

Таблиця 4.7 – Відстань перевезення та тривалість руху маршрутного поїзда між станціями концентрації навантаження зерна та станцією Чорноморська

Станції навантаження маршрутів	Відстань перевезення, км	Тривалість руху маршруту, год.
Помічна	255	6,14
Олександрія	429	10,34
Золотоноша-1	442	10,65
Драбове-Барятинська	480	11,57
Яготин	552	13,30
Прилуки	560	13,49
Христинівка	650	15,50
Сула	628	15,13
Решетилівка	655	15,78
Ромни	674	16,24
Торопилівка	790	19,04

На підставі даних табл. 4.7 та про тривалість знаходження маршрутів з зерном на станціях навантаження і станціях вивантаження вагонів (СВВ) у порту ТІС був розроблений тижневий графік руху маршрутних поїздів по «твердим» ниткам (рис. 4.3) [152].

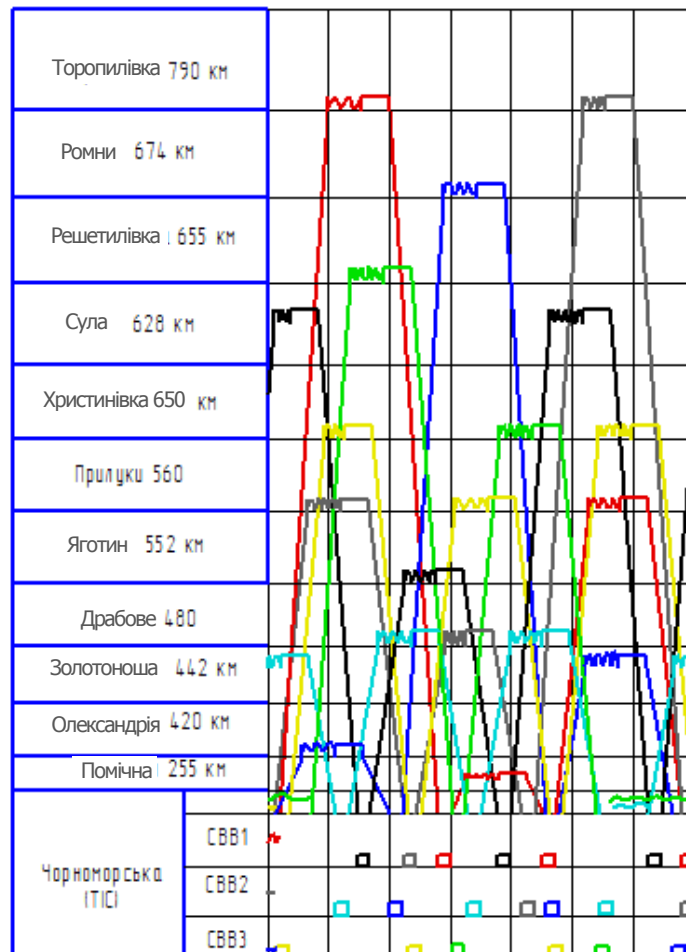


Рисунок 4.3 – Графік руху зернових маршрутів за розкладом

Графік обслуговування вузлових елеваторів маршрутами при їх русі за розкладом (рис. 4.3) передбачає використання 7 составів для забезпечення тижневого обсягу перевезень. Середній обіг зернових вантажів при русі маршрутів за розкладом згідно графіку (рис. 4.3), становить 3,35 доби.

Необхідний робочий парк вагонів-зерновозів у випадку реалізації розробленого графіка руху зернових маршрутів за розкладом складе (4.19):

$$n_{\text{марш}}^{\text{роб}} = 1,04 \cdot 7 \cdot 52 = 379 \text{ ваг.}$$

Частина вагонопотоку залишаються неохопленими маршрутизацією, їх перевезення здійснюється вагонними відправками (4.20). Відповідні значення параметрів, що характеризують перевезення зернових вантажів маршрутами та вагонними відправками наведено у табл. 4.8.

Таблиця 4.8 – Визначення парку вагонів при організації руху зернових маршрутів

Станція навантаження	Загальна кількість вагонів	Кількість маршрутів на тиждень	Маршрутизований вагонопотік	Немаршрутизований вагонопотік
Помічна	3498	1	2704	794
Олександрія	5875	2	5408	467
Золотоноша-1	5414	2	5408	6
Драбове	5808	2	5408	400
Яготин	3911	1	2704	1207
Прилуки	6208	2	5408	800
Христинівка	5725	2	5408	317
Сула	5911	2	5408	503
Решетилівка	3494	1	2704	790
Ромни	4418	1	2704	1714
Торопилівка	7121	2	5408	1713
Разом	57383	18	48672	8711

Для оцінки ефективності маршрутизації перевезення зерна за результатами імітаційного моделювання був визначений обіг вагонів при організації перевезень вагонними відправками між станціями концентрації навантаження та припортовою станцією Чорноморська (ТІС); відповідні значення наведено у табл. 4.9.

Таблиця 4.9 – Обіг вагонів при по вагонних відправках зерна

Станція	Обіг повагонних відправок, доб.
Помічна	6,62
Олександрія	6,66
Золотоноша-1	6,45
Драбове	4,92
Яготин	7,34
Прилуки	7,20
Христинівка	7,52
Сула	4,26
Решетилівка	8,16
Ромни	6,72
Горопилівка	5,78

Середній обіг вагона при повагонних відправках склав 6,51 доби. Робочий парк вагонів для організації перевезень немаршрутизованих вагонопотоків з зерном вагонними відправками складе (4.21):

$$n_{\text{поваг}}^{\text{роб}} = 1,28 \cdot 1,04 \cdot \frac{8711 \cdot 6,51}{365} = 207 \text{ ваг}$$

Загальний робочий парк для забезпечення річних обсягів перевезення з обраних станцій концентрації навантаження складе:

$$n_{\text{роб}} = 379 + 207 = 586 \text{ ваг.}$$

При організації перевезення усього обсягу зерна з цих станцій повагонними відправками необхідний парк вагонів складе (4.21):

$$n_{\text{поваг}}^{\text{роб}} = 1,28 \cdot 1,04 \cdot \frac{57383 \cdot 6,51}{365} = 1362 \text{ ваг.}$$

Таким чином, річна економія витрат на оренду вагонів при організації перевезення зерна маршрутами за розкладом, у порівнянні з повагонними відправками складе:

$$\Delta E_{\text{оренда}} = 365 \cdot (1362 - 586) \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 14,2 \text{ млн. USD або } 3,7 \text{ USD/т}$$

У випадку придбання нового рухомого складу для організації перевезень економія інвестицій складе:

$$\Delta E_{\text{придбання}} = (1362 - 586) \cdot 60000 \cdot 10^{-6} = 46,6 \text{ млн. USD або } 12,1 \text{ USD/т}$$

Річний обсяг перевезення зерна одним вагоном-зерновозом можна визначити за формулою:

$$П = \frac{N_{\text{заг}} \cdot P_{\text{ст}}}{n_{\text{роб}}} \quad (4.24)$$

Річний обсяг перевезення зерна одним вагоном-зерновозом при маршрутизації перевезення складе:

$$П_{\text{марш}} = \frac{57383 \cdot 66}{586} = 6541 \text{ т/рік}$$

При організації по вагонних відправках цей показник складе:

$$П_{\text{поваг}} = \frac{57383 \cdot 66}{1362} = 2814 \text{ т/рік}$$

Таким чином, концентрація навантаження зерна на вузлових станціях та організація перевезення зерна з цих станцій маршрутами за розкладом дозволяє суттєво скоротити як необхідний робочий парк вагонів, так і відповідні витрати на оренду або придбання вагонів, а також значно покращити експлуатаційні показники використання вагонів, зокрема, обіг та продуктивність.

4.4 Висновки за розділом 4

1. Суттєвою проблемою системи доставки зерна у морські порти є значна розпорошеність станцій навантаження, більше 80% з яких не мають можливостей для відвантаження та формування маршрутів з зерном. Для організації відправницької маршрутизації залізничних перевезень зернових вантажів необхідне формування мережі вузлових станцій для концентрації навантаження зерна. Доставка зерна на вузлові станції з лінійних та польових елеваторів, що входять до району концентрації навантаження, здійснюється автотранспортом.

2. Визначення вузлових станцій і формування на їх основі районів концентрації навантаження зерна являє собою досить складну багатоваріантну і багатofакторну оптимізаційну задачу. Для визначення потенційно можливих вузлових станцій розроблено методику, що базується на методах кластерного аналізу. З використанням агломеративного алгоритму кластерного аналізу, що базується на стратегії об'єднання Варда та «канберрівській» мірі відмінності об'єктів з множини 572 станцій було виділено 43 станції можливої концентрації навантаження зерна.

3. Задача формування районів концентрації навантаження навколо вузлових станцій формалізована як задача багатокритеріальної оптимізації з булевими змінними. Для вирішення цієї задачі використано методи теорії множин та цілочисельного лінійного програмування.

4. У підсумковому рішенні до складу 24 районів концентрації навантаження зерна включено 70 станцій, що при мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний обсяг навантаження зерна маршрутами 109 тис. ваг або близько 7,5 млн. т. на рік, що становить близько 23% від загального обсягу перевезень зерна залізницями України.

5. Виконані за допомогою розробленої імітаційної моделі дослідження показали, що застосування відправницької маршрутизації дозволяє скоротити обіг вагона при перевезенні зерна у порт на 27%, а застосування технології руху відправницьких маршрутів за розкладом дозволяє скоротити обіг вагона на 57%, у порівнянні з перевезенням вагонними відправками, продуктивність вагона збільшується на 27% та 82% відповідно.

6. Аналіз показників розробленого графіку руху зернових маршрутів між виділеними станціями концентрації навантаження зерна та великим морським портом показав, що організація перевезення зерна з цих станцій маршрутами за розкладом дозволяє майже у 2 рази скоротити як необхідний робочий парк вагонів, так і відповідні витрати на оренду або придбання вагонів, а також суттєво покращити такі експлуатаційні показники використання вагонів, як обіг та продуктивність.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить отримані автором результати, які в сукупності вирішують наукове завдання підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зернових вантажів залізничним транспортом на експорт за рахунок формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутних поїздів. Виконані в роботі дослідження дозволяють зробити наступні висновки та пропозиції.

1. Україна посідає лідируючі позиції серед найбільших світових виробників та експортерів зерна. Перспективні плани розвитку українського аграрного сектору передбачають протягом найближчих 5 років зростання обсягів виробництва зернових до 100 млн. т., а експорту до рівня 60...70 млн. т. на рік. Існуючі методи планування та оцінки ефективності систем експлуатації рухомого складу залізничного транспорту, що здійснює близько 70% експортних перевезень зерна, не в повній мірі враховують сучасні умови перевезення зернових вантажів в Україні, зокрема, зміни в структурі вагонного парку та у тарифній політиці Укрзалізниці, а також особливості існуючої системи зберігання та транспортування зерна.

2. Інфраструктура зі зберігання зерна та його перевалки в портах наразі активно розвивається, а її потужності є достатніми для повного забезпечення наявних та перспективних обсягів експорту зернових. Основними проблемами залізничних перевезень зерна є висока розпорошеність станцій навантаження зерна при низькій навантажувальній потужності більшості станцій, недостатня пропускна здатність припортової залізничної інфраструктури, дефіцит локомотивної тяги, зношеність вагонів-зерновозів, недосконала система планування перевезень. На основі статистичної обробки даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонів-зерновозів встановлені основні показники їх експлуатації, зокрема середня відстань перевезення, тривалість обігу та його окремих елементів. Встановлено що з 2012 р. суттєво погіршилися показники експлуатації зерновозів – обіг вагонів виріс на 84%, а продуктивність знизилась на 34%.

3. Підвищення ефективності експлуатації рухомого складу при перевезенні зерна можливе при впровадженні відправницької маршрутизації та її раціональному плануванні на основі сучасних наукових методів. З цією метою отримано комплекс залежностей, що визначають ефективність використання автомобільного чи залізничного транспорту при перевезенні зернових вантажів в залежності від відстані, форми власності рухомого складу та системи організації перевезень. Встановлено, що залізничні перевезення є конкурентними на відстанях від 150 км, а при формуванні зернових маршрутів відправник в залежності від наявної інфраструктури та парку власних вагонів може скоротити витрати на перевезення на 30...60 грн/т, порівняно з вагонними відправками.

4. Для оцінки ефективності різних варіантів технології залізничних перевезень зернових вантажів у морські порти була удосконалена імітаційна модель залізничного напрямку за рахунок уведення до її структур технологічного параметру, що дозволяє досліджувати організацію руху відправницьких маршрутів з вузлових станцій навантаження, зокрема за розкладом; виконана ідентифікація моделі та оцінка її адекватності.

5. Формування експортно-орієнтованої мережі вузлових станцій навантаження зернових маршрутів виконано на основі розробленої методики, що базується на методах кластерного аналізу та багатокритеріальної оптимізації з булевими змінними. У підсумковому рішенні до складу 24 районів концентрації навантаження зерна з 572 станцій включено 70, що при мінімальних додаткових витратах забезпечує максимальний сумарний обсяг навантаження зерна маршрутами близько 7,5 млн. т. на рік.

6. Виконані за допомогою удосконаленої імітаційної моделі дослідження показали, що застосування відправницької маршрутизації з вузлових станцій навантаження дозволяє скоротити обіг вагона при перевезенні зерна у порт на 27%, а застосування технології руху маршрутів за розкладом – на 57%, у порівнянні з перевезенням вагонними відправками; продуктивність вагона при цьому збільшується на 27% та 82% відповідно.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Єдина комплексна стратегія та план дій розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на 2015-2020 роки – Київ: Міністерство аграрної політики та продовольства України. – 2015. – 225 с.
2. Стратегічні напрями розвитку сільського господарства України до 2020 року – Київ.: ННЦ “ІАЕ”, 2012. – 182 с.
3. Обзор рынка зерновых // Международный совет по зерну, 2019 – Вып. 496. – 8 с.
4. Офіційний сайт Державної служби статистики України [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
5. Стратегія розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року, затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17.10.2013 р. №806-р [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/806-2013-%D1%80>.
6. К 2020 году Украина будет экспортировать более 60 млн тонн зерновых [Електрон. ресурс] – Режим доступа: http://cfts.org.ua/news/2017/05/25/k_2022_godu_ukraina_budet_eksportirovat_bole_60 mln_tonn_zernovykh_40787
7. Исследование достаточности объема локомотивных мощностей для грузовых перевозок железнодорожным транспортом в условиях роста урожая и восстановления экономики Украины до 2023 года //IMF Group Ukraine – 2018. – 34 с.
8. Концепція Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року, затв. розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.12.2015 р. №1437-р. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.kmu.gov.ua/ua/nras/248907971>
9. Колодійчук В. А. Ефективність логістики зерна та продуктів його переробки : монографія / В. А. Колодійчук. – Львів : Український бестселер, 2015. – 574 с.
10. The Logistics Performance Index and Its Indicators. The World Bank: The International Bank for Reconstruction and Development, 2018 – p. 82

11. Shifting into Higher Gear. Recommendations for Improved Grain Logistics in Ukraine Report № ACS15163 – World Bank, 2015 – p. 42

12. Рябова, С. Складские цифры: сколько денег и почему теряют аграрии Украины на логистике [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://delo.ua/business/skladskie-cifry-pochemu-agrarijam-stoit-udeljat-bolshe-vnimaniya-327406>.

13. Колодійчук, В. А. Ефективність логістичних систем у зернопродуктовому під комплексі АПК: дис. на здоб. наук. ступеня док. екон. наук: спец. 08.00.04 / В. А. Колодійчук // Львівський нац. аграрн. ун-т. – Львів, 2015. – 625 с.

14. Оносова, І.А. Проблеми експорту зерна в контексті недосконалості сучасної інфраструктури зернового ринку України / І. А. Оносова // Праці Таврійського держ. агротехнолог. ун-ту – 2013. – Вип. 13Т.1 – С. 187-195.

15. Седікова І. О. Роль транспортної логістики у функціонуванні ринку зерна / І. О. Седікова // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2007. – № 579: Проблеми економіки та управління. – с. 546-548.

16. Заєць, М.А. Логістичне забезпечення розвитку зерна / М. А. Заєць // Науковий вісник Херсонського державного ун-ту – 2014. – №8 (3) – с. 25-30.

17. Столбуненко, Н. М., Церковна, А. В. Особливості та перспективи розвитку зернової логістики в Україні / Н. М. Столбуненко, А. В. Церковна // Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління. – 2017. – Том 16. Вип. 2 (36). – с. 188-198.

18. Кравцов, А. Г. Перспективи впровадження концепцій транспортної та складської логістики при виробництві продукції АПК / А. Г. Кравцов // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2014. - Вип. 147. - С. 187-193.

19. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.gks.ru>

20. Ожерельева, М. В., Хусаинов, Ф. И. Перевозки грузов железнодорожным транспортом в 207 году: экономико-статистический обзор / М. В. Ожерельева, Ф. И. Хусаинов // Вестник Транспорта. – 2018. – №9. – С.15-23.

21. Российские железные дороги. Официальный сайт [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.rzd.ru/>
22. Дэльз, С. В. Развитие транспортно-логистической системы экспортной перевозки зерна: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.01/ С. В. Дэльз // Московский автомоб.-дорожн. госуд. техн. ун-т.– Москва. – 2012. – 24 с.
23. Батыгов, Я. А. Развитие логистической инфраструктуры зернового экспорта в России: дис. на соиск. учен. степ. канд. экон. наук: спец. 08.00.05/ Я. А. Батыгов // Ростовский госуд. эконом. ун-т. – Ростов-на-Дону. – 2015. – 167 с.
24. Купченко, А. В. Элеваторные мощности Украины / А. В. Купченко // Хранение и переработка зерна, 2014. – №7 (184). – С. 33-37.
25. Карта элеваторов Украины [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://elevatorist.com/karta-elevatorov-ukrainy>
26. Морские порты Украины нарастили перевалку зерна в 2019 году на треть [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://elevatorist.com/novosti/9647-morskie-portyi-ukrainyi-narastili-perevalku-hlebnyih-gruzov-v-2019-godu-na-tret>
27. Мощности по перевалке зерна морпортами Украины выросли до 85 млн т [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://latifundist.com/novosti/47400-moshchnosti-po-perevalke-zerna-morportami-ukrainy-vyrosli-do-85-mln-t>
28. Боровой, Н. Е. Маршрутизация перевозок грузов. Монография / Н. Е. Боровой. – Москва: Транспорт. – 1978. – 216 с.
29. Правила перевезень вантажів залізничним транспортом України. Ч.1. Київ: Видавничий дім „САМ”. – 2004. – 432с.
30. Козаченко, Д. М. Підвищення ефективності управління приватним вагонним парком за рахунок відправницької маршрутизації порожніх вагонопотоків / Д.М. Козаченко, А.І. Верлан, Р. В. Вернигора // Залізничний транспорт України. - 2012. - №6. - с. 35 - 37.
31. Мямлин, С. В. Совершенствование зерновой логистики за счет внедрения бимодальных технологий / С. В. Мямлин, Р.Г. Коробйова, В. В. Малашкин, Д.А. Бесараб // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”,– Дніпропетровськ: ДНУЗТ. – 2015. – Вип. 14. – с. 69-77.

32. Sarmiento, C. Spatial Modeling in Technology Adoption Decisions: The Case of Shuttle Train Elevators / C. Sarmiento, W. Wilson // *American Journal of Agricultural Economics*. – 2005. – Vol. 87, no. 4. – pp. 1034-1045.

33. Стратегія розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017-2021 роки – Київ: Укрзалізниця, 2017. – 60 с.

34. Козаченко, Д. М. Підвищення ефективності оперативного керування локомотивним парком залізниць України: монографія / Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, Л.О. Єльнікова, М.І. Березовий; Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро: Герда, 2017. – 164 с.

35. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України: №1028 – ЦЗ. – Затв. Наказом Укрзалізниці 29. 12. 2004. – Видавництво. – Київ: ТОВ «Швидкий рух», 2005. – 100 с.

36. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах СССР – Москва: Транспорт, 1984. - 256 с.

37. Козаченко, Д. Н. Оценка эффективности маршрутизации перевозки массовых грузов железнодорожным транспортом в современных условиях / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, А. И. Верлан // *Зб. наук. праць Донецького ін-ту залізнич. тр-ту*. - 2012, – №. 31, с. 25-29.

38. Козаченко, Д. Н. Проблемы стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте / Д. Н. Козаченко // *Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля*. – 2013 – №3(192). – с. 207-211.

39. Верлан, А. И. Совершенствование методов стимулирования отправительской маршрутизации на железнодорожном транспорте / А. И. Верлан // *«Наука та прогрес транспорту»*. *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. тр-ту*. – 2014, – № 1 (49) – с. 75-85.

40. Верлан, А. И. Совершенствование методов технико-экономической оценки эффективности перевозки грузов отправительскими маршрутами / А. И. Верлан, Е. П. Пинчук, И. Л. Журавель // *Транспортні системи та технології перевезень*. *Зб. наук. праць ДНУЗТ ім. В. Лазаряна*. – 2014. – Вип. 7. – с. 10-14.

41. Богомазова, Г. Є. Удосконалення методів визначення ефективності маршрутизації перевезень з урахуванням сучасних вимог / Г.Є. Богомазова // Зб. наук. праць Укр. державн. академії залізн. тр-ту. – Харків: УкрДАЗТ – 2013. – Вип. 137. – С. 105-109.

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

43. «Укрзалізниця» даватиме знижку на маршрутні доставки [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://agropolit.com/news/7282-ukrzaliznitsya-davatime-znijku-na-marshrutni-dostavki>

44. Обухова, А. Л. Аналіз основних проблем при перевезенні масових вантажів залізничним транспортом / А. Л. Обухова, М. С. Шевельова, Н. О. Стешенко // Зб. наук. праць Укр. державн. академії залізн. тр-ту. – Харків: УкрДАЗТ. – 2015. – Вип. 152. – С. 45-49.

45. Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця». Парк вантажних вагонів України з розподілом по РРС [Електрон. ресурс] – Режим доступу: http://uz.gov.ua/cargo_transportation/electronic_transportation

46. Лаврухін, О В. Аналіз і перспективи розвитку перевезень зернових вантажів залізничним транспортом України / О. В. Лаврухін, Д. І. Мкртич'ян, О. М. Костенніков, С. П. Кануннікова, Ю. В. Церковнюк // Зб. наук. праць Укр. державн. академії залізн. тр-ту. – Харків: УкрДАЗТ. – 2015. – Вип. 158. – С. 31-35.

47. Булгакова, Ю. В. Планирование маршрута доставки сырья в условиях Мариупольского промышленного узла / Ю. В. Булгакова, Т. А. Гуцал // Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія : Технічні науки. - 2017. - Вип. 34. - С. 217-224.

48. Аникеева-Науменко, Л. О. Методы повышения эффективности использования вагонов грузового парка на железнодорожном транспорте: дис. на соиск. учен. степ. канд. экон. наук: спец. 08.00.05/ Л. О. Аникеева-Науменко // Московский госуд. ун-т. путей сообщ.– Москва. – 2014. – 190 с.

49. Осьминин, А. Т. Оценка эффективности маршрутизации с мест погрузки / А. Т. Осьминин, Г. М. Грошев, О. А. Никифорова // Железнодорожный транспорт. – 2008. – №1. – с. 61-65.

50. Черниш, Н. Ю. Вибір раціональних параметрів каналів вантажопотоків при удосконаленні маршрутних способів перевезення масових вантажів залізничним транспортом: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.22.20 / Н. Ю. Черниш // Харк. держ. академія залізн. тр-ту.– Харків. – 2001. – 24 с.

51. Прейскурант №10-01. Тарифы на перевозку грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые Российскими железными дорогами: в 2 ч. [Электрон. ресурс] – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6188.

52. Панин, В.В. Маршрутизация перевозок грузов на сети железных дорог ОАО «РЖД» / В. В. Панин, Е. С. Колесникова // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 2. – С. 34-39.

53. Зубков, В. Н. Перспективные технологии перевозок сельскохозяйственных грузов в железнодорожно-морском сообщении [Электрон. ресурс]/ В. Н. Зубков, Мамаев Э. А., Числов О. Н. // Научн. журнал Кубанского гос. аграрн. ун-та. – Краснодар: КубГАУ. – 2016. – №124 (10). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/10/pdf/14.pdf>

54. Лapidус, Б.М. Реформирование отрасли - социально-экономическая потребность государства и железных дорог / Б.М. Лapidус // Железнодорожный транспорт. – 2000. – №9.– С.24-28.

55. Nightengale, E. A. Some Effects of Recent Changes in the Railway Grain-Rate Structure on Interregional Competition and Regional Development / E. A. Nightengale, J. Davidson, H. Ottoson // Transportation Problems and Policies in the Trans-Missouri West. – 1967. – pp. 77-102

56. Schnake, L. D. Inland grain elevator operating costs and capital requirements / L. D. Schnake, C. Jr. Stevens // Bulletin: Kansas Agricultural Experiment Station. – 1983. № 644. – 30 p.

57. Hauser, R. J. Implicit Values of Multiple Car Grain Loading Facilities in Iowa and Nebraska / R. J. Hauser, J. Beaulieu, C. P. Baumel // North Central Journal of Agricultural Economics. – 1984. – Vol. 6, no. 2. – pp. 80-90.

58. Railroad Revitalization and Regulatory Reform Act of 1976: Public Law 94-210, § 801 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.legisworks.org/GPO/STATUTE-90-Pg31.pdf>

59. Staggers Rail Act of 1980: Public Law 96-448 [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/STATUTE-94/pdf/STATUTE-94-Pg1895.pdf>.

60. Wilson, W. U.S. grain handling and transportation system: factors contributing to the dynamic changes in the 1980s and 1990s / W. Wilson. –Dept. of Agricultural Economics, Agricultural Experiment Station, North Dakota State University, 1998. – 27 p.

61. Ndembe, E. Hard Red Spring Wheat Marketing: Effects of Increased Shuttle Train Movements on Railroad Pricing in the Northern Plains / E. Ndembe // Journal of the Transportation Research Forum. – 2015. – Vol. 54, no. 2. – pp. 101-115.

62. Sparger, A. A comprehensive rail rate index for grain [Электрон. ресурс] / A. Sparger, M. Prater. – Режим доступа: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/147348/2/Rail%20Rate%20Index.pdf>.

63. Kenkel, P. An Economic Analysis Of Unit-Train Facility Investment [Электрон. ресурс] / P. Kenkel, S.Henneberry, H. N. Agustini // Selected Paper prepared for presentation at the Southern Agricultural Economics Association Annual Meeting, Tulsa, Oklahoma, February 14-18, 2004 – Режим доступа: <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/34748/1/sp04ke02.pdf>.

64. Hyland, M. Analytical models of rail transportation service in the grain supply chain: Deconstructing the operational and economic advantages of shuttle train service / M. Hyland, H. Mahmassani, L. Mjahed. // Transportation Research. – 2016. – Pt. E93. – pp. 294–315.

65. Кириченко, С. А. Мультимодальные контейнерные перевозки зерна / С. А. Кириченко // Мир транспорта. – 2015. – том 13, №1 – с. 116-125

66. Роменкова, В.А., Ломакина Н.С. Транспортировка зерна в контейнерах [Электрон. ресурс] / В. А. Роменкова, Н. С. Ломакина // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 5-1. – С. 148-148 – Режим доступа: <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=33784>.

67. Пшінько, О. М. Можливості впровадження бімодальних технологій перевезень контейнерів на транспортному ринку України /О. М. Пшінько, С. В. Мямлін, Р. Г. Коробйова // Залізничний транспорт України. – 2009. – № 5. – С. 20-22.

68. Рустамов Р.Ш. Оценка перспектив развития зерновой логистики в Украине // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 8. – Д.: ДНУЗТ, 2014. – с. 127-133.

69. Вернигора Р. В., Рустамов Р.Ш. Анализ системы хранения украинского зерна // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 13. – Д.: ДНУЗТ, 2017. – с. 10-18.

70. Анализ зерновой логистики Украины и предложения по ее модернизации // АПК-Информ, 2013 – 88 с.

71. Про зерно та ринок зерна в Україні. Закон України від 04.07.2002 № 37-IV [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/37-15>.

72. Кобута, И., Сикачина, А, Жигадло, В. Экономика экспорта пшеницы в Украине / И. Кобута, А. Сикачина, В. Жигадло //The Regional Office for Europe and Central Asia of the Food and Agriculture Organization, 2012. – №2012-5. – 59 с.

73. Довгенко, Я. О. Статистичний аналіз динаміки споживання зерна та забезпечення попиту / Я. О. Довгенко // Економічні науки: Наукові праці Кіровоградського інституту регіонального управління та економіки. – Кіровоград, 2010. – Вип. 17. – С. 401-407

74. Тенденции мирового рынка элеваторов [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://mcx-consult.ru/d/77622/d/issledovanie-rynka-elevatorov.pdf>

75. Итоги 2017 г. и прогнозы на 2018 г. в элеваторной отрасли / [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://elevatorist.com/spetsproekt/77-itogi-2017-g-i-prognozyi-na-2018-g-v-elevatornoy-otrasli>

76. Воробьева, И. Строительство элеваторов: ТОП объектов за 2018 г. и планы на 2019 г. [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://elevatorist.com/spetsproekt/93-stroitelstvo-elevatorov-top-obyektov-za-2018-g-i-planui-na-2019g>

77. Купченко, А. Тенденции в развитии элеваторной отрасли Украины / А. Купченко // Хранение и переработка зерна, 2017. – №8 (184). – С. 17-22.

78. Ивахненко, О. Элеваторные реалии: модернизация и строительный бум [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://a7d.com.ua/novini/36936-elevatornye-realii-modernizaciya-i-stroitelnyy-bum.html>

79. Тарифы украинских элеваторов выросли [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.ukragroconsult.com/news/tarify-ukrainskih-elevatorov-vyrosli>

80. Адміністрація морських портів України. Офіційний сайт [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.uspa.gov.ua>

81. Зейкин, К. Зерновые терминалы 2018: что было, что стало и что будет? / К. Зейкин // Хранение и переработка зерна, 2018. – №8 (184). – С. 17-22

82. Офіційний сайт компанії ТІС [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.tis.ua/>

83. Ківалов, С. В. Портові збори в Україні: пошук оптимальної моделі конкурентної тарифної політики / С. В. Ківалов // Lex Portus. - Херсон: ФОП «Грінь Д.С.» – 2017. – № 1 (3). – С. 5-21.

84. Про погодження ставок портових зборів. Розпорядження КМУ від 11.01.2018 № 2-р. [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2-2018-%D1%80>

85. Перевозки зерна автотранспортом в 2018 году выросли на 12% [Електрон. ресурс] – Режим доступа: https://cfts.org.ua/news/2019/01/24/perevozka_zerna_avtotransportom_v_2018_godu_vyroslo_na_12_51352

86. Річкова інформаційна служба водних шляхів України. Офіційний сайт [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <https://ukrris.com.ua/index.php>

87. Огороков А.М., Вернигора Р.В., Цупров П.С. Річковий транспорт України: сучасний стан та перспективи використання // Зб. наук. праць ДНУЗТ:

Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 12. – Д.: ДНУЗТ, 2016. – с. 62-68.

88. Транспорт і зв'язок України-2018. Статистичний збірник. – Київ: Державна служба статистики України. – 2019. – 154 с.

89. Быстрицкая, О. Речные перевозки. Пациент скорее жив? [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://cfts.org.ua/articles/rechnye_perevozki_patsient_skoree_zhiv__1419

90. Офіційний сайт Міністерства інфраструктури України. Залізничний транспорт [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/timeline/Zaliznichniy-transport.html>

91. Сколько всего локомотивов у "Укрзалізници" [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://cfts.org.ua/infographics/skolko_vsego_lokomotivov_u_ukrzaliznytsi

92. Обсяг перевезення зерна і продуктів перемолу залізницею в 2019 році [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://zernovoz.ua/blog/monitoring-1/post/obsiag-perevezennia-zerna-i-produktiv-peremolu-zaliznitseiu-v-2019-rotsi-168>

93. Грузопотоки железных дорог Украины – 2019 [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://cfts.org.ua/infographics/gruzopotoki_zheleznykh_dorog_ukrainy_2019

94. Киричевский, И. Путь зерна: Какой была логистика аграрного экспорта в 2018 году / И. Киричевский [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://cfts.org.ua/articles/put_zerna_kakoy_byla_logistika_agrarnogo_eksporta_v_2018_godu_1517

95. Мямлин, С. В. Проблемы и перспективы перевозки зерновых грузов железнодорожным транспортом в Украине / С. В. Мямлин, Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора // Залізничний транспорт України. – 2013. – Вип.2(99). – С.32-34.

96. Загальна структура станцій навантаження зерна у 2018 році/ Газета «Магістраль» [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://info.uz.ua/infografika/zagalna-struktura-stantsiy-navantazhennya-zerna>

97. Козаченко, Д. М. Підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом/ Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов // Українські залізниці – 2014. №7(13). – с.56-59.

98. Вернигора Р. В. Перспективи експортних перевезень зернових вантажів у контейнерах / Р. В. Вернигора, А. М. О कोरोков, П. С. Цупров, Р. Ш. Рустамов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 16. – Д.: ДНУЗТ, 2018. – с. 22-30.

99. ТОП-10 частных собственников вагонов-зерновозов в Украине [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://agoreview.com/ru/news/top-10-chastnyh-sobstvennykov-vahonov-zernovozov-v-ukrayne>

100. Григоренко Ю. Когда нужна скорость: обновление вагонного парка пора систематизировать / Ю. Григоренко [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://gmk.center/posts/kogda-nuzhna-skorost-obnovlenie-vagonnogo-parka-pora-sistematizirovat/>

101. Правительство утвердило порядок компенсации за покупку вагонов-зерновозов [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://cfts.org.ua/news/2019/02/28/pravitelstvo_utverdilo_poryadok_kompensatsii_za_pokupku_vagonov_zernovozov_51967

102. Шахов, А. План ликвидации вагонов-зерновозов снимет напряжение или спровоцирует панику?/ А. Шахов [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://agroportal.ua/views/blogs/plan-likvidatsii-vagonovzernovozov-snimet-napryazhenie-ili-sprovotsiruet-paniku/>

103. Агрологістика в Україні. Аналітичне дослідження. // Центр транспортних стратегій. – Київ, 2016. – 56 с.

104. Силивончик, А. Вагончик тронется: государство стимулирует строительство зерновозов/ А. Силивончик [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://latifundist.com/spetsproekt/416-vagonchik-tronetsya-gosudarstvo-stimuliruet-stroitelstvo-zernovozov>

105. Поважнюк, С. С. Потреба економіки України у нових вантажних вагонах. Вплив виробництва вагонів на вітчизняну економіку / С. С. Поважнюк // ДП «Укрпромзовнішекспертиза» – Київ, 2016. – 20с.

106. Ткачев, В. «Повелители зерновозов» VS Автоматическое распределение вагонов: кто кого?/ В .Ткачев [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://latifundist.com/blog/read/2036-poveliteli-zernovozov-vs-avtomaticheskoe-raspredelenie-vagonov-kto-kogo>

107. Козаченко Д.Н., Вернигора Р.В., Березовый Н.И. Проблемы использования частных локомотивов для выполнения перевозок на магистральном железнодорожном транспорте // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, Вип. 3. – Д.: ДНУЗТ, 2012. – с. 40-46.

108. Ткачев, В. Дороги, рейки, річка. Що відбувається із зерною логістикою України [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <https://logistics.biz.ua/ru/дороги-рейки-річка-що-відбувається-із/>

109. Кумайгородська, Н. Зернова логістика: де слабка ланка / Н. Кумайгородська / Газета «Магістраль» [Електрон. ресурс] – Режим доступа: <https://info.uz.ua/analitika/zernova-logistika-de-slabka-lanka>

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

111. Быстрицкая, О. Логистика зерна: Куда ведут маршруты Укрзалізничці / О. Быстрицкая [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://cfts.org.ua/articles/logistika_zerna_kuda_vedut_marshruty_ukrzaliznytsi_1483

112. Офіційний сайт АТ «Укрзалізниця». Укрзалізниця пропонує оптимізувати роботу малодіяльних зернових вантажних станцій [Електрон. ресурс] – Режим доступа: https://uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/473057/

113. Ткачев, В. Тотальная маршрутизация отправок зерна отрезала от железнодорожной инфраструктуры 90% линейных элеваторов – [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://www.apk-inform.com/ru/exclusive/opinion/1103714>

114. Киричевский, И. Ступенчатые маршруты доставки зерна в порты: мнение экспертов / И. Киричевский [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://ports.com.ua/articles/stupenchatye-marshruty-dostavki-zerna-v-porty-mnenie-ekspertov>

115. Маршрутизация - единственный эффективный логистический механизм для перевозок зерновых [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <https://www.ameu.org.ua/ru/news/3017-marshrutizatsiya-edinstvennyj-effektivnyj-logisticheskij-mekhanizm-dlya-perevozk-zernovykh>

116. Довідник основних показників роботи регіональних філій АТ «Українська залізниця» (2003-2018 роки) / Київ: АТ «Українська залізниця», Управління статистики. – 2019. – 39 с.

117. Исследование "Наш вагон": средняя скорость повагонных отправок не превысила 75 км в сутки [Электрон. ресурс] – Режим доступа: https://cfts.org.ua/news/2019/02/12/issledovanie_nash_vagon_srednyaya_skorost_po_vagonnykh_otpravok_ne_prevysila_75_km_v_sutki_51666

118. Kozachenko, D. M. Creation of export-oriented network of grain elevators in Ukraine. / D. M. Kozachenko, R. V. Vernigora, R S. Rustamov // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ, – Д.: ДНУЗТ, 2017. – №2(68) – с. 56-70.

119. Вернигора, Р.В. Анализ неравномерности грузовых перевозок на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте/ Р.В. Вернигора, Н.И. Березовый // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – №2/3 (56). – с. 62-67.

120. Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике. – Москва: Интернет-Трейдинг, 2004, – 304 с.

121. Вернигора, Р. В. Аналіз нерівномірності залізничних перевезень зернових вантажів/ Р. В. Вернигора, Р. Ш. Рустамов, О. І. Нос // «Перспективи взаємодії залізниць та промислових підприємств»: Тези 8-ї міжн. наук.-практ. конф. – Дніпро: ДНУЗТ – 2019. – с. 30-32.

122. Вернигора, Р.В. Определение расчетных объемов работы грузовых пунктов на железнодорожных подъездных путях промышленных предприятий / Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый, В. В. Малашкин // Вестник БелГУТа. – 2012. – №1 (24). – с.54-57.

123. Шторм, Р. Теория вероятностей, математическая статистика, статистический контроль качества / Р. Шторм – Москва: Мир, 1970. – 368 с.

124. Офіційний сайт Укрзалізниці. Вантажні перевезення. Вільні тарифи. Ставки плати за використання власних вагонів перевізника ПАТ «Укрзалізниця» (13.10.2019) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/dogtariffs/stavky/501517/

125. Ткачев, В. Перевозки зерна железной дорогой в 2019 г. Подведем итоги? [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://latifundist.com/blog/read/2551-perevozki-zerna-zheleznoj-dorogoj-v-2019-g-podvedem-itogi>

126. Копилова, Т. Оновлення парку зерновозів: думка бізнесу / Т. Копилова // Газета «Магістраль» [Електрон. ресурс]. — Режим доступу: <https://info.uz.ua/analitika/onovlennya-parku-zernovoziv-dumka-biznesu>

127. Методика определения эффективности для ОАО «РЖД» отправительской маршрутизации и ставок договорной платы за формирование прямых отправительских маршрутов на путях общего пользования. Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 24.07.2007 № 1379р [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://zakonbase.ru/content/nav/135116>

128. Козаченко, Д.М. Напрямки підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом / Д. М. Козаченко, Р. Ш. Рустамов, Х. В. Матвієнко // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, – Дніпропетровськ: ДНУЗТ, – 2013. – Вип. 6. – с. 56-60.

129. Коробйова, Р.Г. Внедрение бимодальных технологий перевозки зерновых грузов в Украине / Р. Г. Коробйова, Р. Ш. Рустамов, С. В. Гревцов // Зб. наук. праць ДНУЗТ: Серія “Транспортні системи і технології перевезень”, – Дніпропетровськ: ДНУЗТ. – 2015. – Вип. 9. – с. 29-34

130. DellaTM. Ціни на перевезення [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://della.com.ua/price/>

131. Zernovoz.ua [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://zernovoz.ua/avto/perevozka-zernovykh>

132. Інформаційний сервіс «Вантажні перевезення в Україні» [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://ukrvantage.com/category/automotive>
133. Дрейпер Н. Прикладной регрессионный анализ. Книга 1. / Н. Дрейпер, Г. Смит – М.: Финансы и статистика, 1986. – 366 с.
134. Центр транспортної логістики. Офіційний сайт [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://uz-cargo.com/>
135. Офіційний сайт Укрзалізниці. Коефіцієнти до збірника тарифів (29.03.2019) [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/tariff_onditions/transportation_in_ukraine/the_coefficients_of_the_collection_rates/
136. Офіційний сайт Укрзалізниці. Вантажні перевезення. Вільні тарифи. Коефіцієнти порожнього пробігу (13.11.2018) [Електрон. ресурс]. –Режим доступу: http://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/dogtariffs/kpp/483046/
137. Шахов, А. Инвестиции в вагоны-зерновозы: срок окупаемости от 1 до 3 лет/ А. Шахов [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://agroportal.ua/views/blogs/investitsii-v-vagonyzernovozy-srok-okupaemosti-ot-1-do-3-let/>
138. Некрашевич, В.И. Твердый график движения поездов – основа высокоэффективного использования локомотивного парка/ В. И. Некрашевич // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2007. – №1(14). – С. 38-44.
139. Козаченко, Д.Н. Резервы времени при организации движения грузовых поездов по расписанию/Д.Н. Козаченко, Н.И. Березовый, В. О. Баланов, В.В. Журавель // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. – 2015. – № 2(56). – С.105-115.
140. Mozolevych, G. The research of effect of train flows parameters and technical and technological parameters of marshalling yard on its indicators by simulation / G. Mozolevych, O. Puhach, R. Rustamov // Transport Problems 2015: Proceedings IV Symposium of young researchers – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2015 – p. 770-778.

141. Козаченко, Д. Н. Оценка эффективности технологии железнодорожных перевозок зерновых грузов с использованием имитационного моделирования / Д. Н. Козаченко, Р. В. Вернигора, Н. И. Березовый, Р. Ш. Рустамов // Вестник БелГУТа. – 2015. – №2 (31). – С. 109-113.

142. Bobrovskiy, V. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata / V. Bobrovskiy, D. Kozachenko, R. Vernigora //Transport Problems, Vol. 9, Issue 3 – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2014 – p. 57-66.

143. Вернигора, Р.В. Дослідження процесів составоутворення на сортувальних станціях методами імітаційного моделювання / Р. В. Вернигора, О.В. Пугач // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №6/4. – с. 52-55.

144. Леман, Э. Проверка статистических гипотез / Э. Леман – Москва: Наука. 1979. - 408 с.

145. Kozachenko, D. Resource-saving technologies of railway transportation of grain freights for export / D. Kozachenko, R. Vernigora, V. Kuznetsov, R. Rustamov, A. Papahov, N. Logvinova //Archives of Transport, – 2018. – Vol. 45, Issue 1. – p.p. 53-64.

146. Самойленко, И. Вагоны, маршруты. А возить зерно не в чем / И. Самойленко, О. Стерний, В. Набок // [Электрон. ресурс] – Режим доступа: <http://www.zerno-ua.com/journals/2012/dekabr-2012-god/vagony-marshruty-a-vozit-zerno-ne-v-chem>

147. Тарифное руководство №4 железных дорог Украины – Киев : Логос, 2001. – 403 с.

148. Дюран, Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл. – Москва : Книга по требованию, 2012. – 128 с.

149. Мандель, И. А. Кластерный анализ / И. А. Мандель. – Москва : Финансы и статистика, 1988 – 215с.

150. Андерсон, Т. В. Введение в многомерный статистический анализ / Т. В. Андерсон. – Москва : Физматгиз, 1963. – 360с.

151. Энслейн, К. Статические методы для ЭВМ /К. Энслейн. – Москва: Наука, 1986. – 464с.
152. Ward J.H. Hierarchical grouping to optimize an objective function / J.H. Ward J.H. // Journal of the American Statistical Association, 1963. — 236 p.
153. Ахо, А. Построение и анализ вычислительных алгоритмов / А. Ахо, Дж. Хопкрофт, Дж. Ульман. – Москва : Мир, 1979. – 536 с.
154. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ /Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – Москва : ООО «И.Д. Вильямс», 2013. – 1328 с.
155. Киселева, Е. М. Модели и методы решения непрерывных задач оптимального разбиения множеств: линейные, нелинейные, динамические задачи: монография / Е. М. Киселева, Л. С. Коряшкина. – Киев : Наукова думка, 2013. – 607 с.
156. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения / Р. Штойер. – Москва : Радио и связь, 1992. – 504 с.
157. Корбут, А. А. Дискретное программирование / А. А. Корбут, Ю. Ю. Финкельштейн. – Москва : Наука, 1969. – 368 с.
158. Зак, Ю. А. Прикладные задачи многокритериальной оптимизации / Ю. А. Зак. – Москва : Экономика, 2014. – 455 с.
159. Баланов, В. О. Анализ факторов, влияющих на обеспечение движения грузовых поездов по расписанию / В. О. Баланов // // Транспортні системи і технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – Вип. 10. – С. 5-9.
160. Mu, Sh Scheduling Freight Trains Traveling on Complex Networks / Sh. Mu, M. Dessouky // Transportation Research Part B: Methodological – 2011. – Vol. 45, Issue 7. – p.p. 1103-1123.
161. Прохорченко, А. Продаж нитки графіку. Як це відбувається / А. Прохорченко // [Електрон. ресурс] – Режим доступу: https://cfts.org.ua/blogs/prodazh_nitki_grafiku_yak_tse_vidbuvaetsya_480
162. Бородин, А. Ф. О ходе работы «Переход на новую технологию управления движением поездов по расписанию на опытных полигонах» в

рамках приоритетного направления «Разработка технологии эксплуатационной деятельности холдинга «РЖД», обеспечивающей достижение целевых экономических параметров на базе процессных моделей» / А. Ф. Бородин // Бюллетень Объед. ученого совета ОАО «РЖД». – 2011. – № 6. – С. 3–21.

163. Шапкин, И. Н. Организация перевозок на основе дискретных методов управления и твердого графика движения поездов / И. Н. Шапкин, Д. Б. Неклюдов, Е. М. Кожанов // Железные дороги мира – 2005. – №3. – С. 28-33.

164. Ковалев, В. Н. Твердый график движения поездов – основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад / В. Н. Ковалев, В. Л. Сальченко // Вестник ВНИИЖТа – 2008. – №1. – С. 38-42.

165. Інструкція зі складання графіків руху поїздів на залізницях України. – Київ : Транспорт України, 2002. – 148 с.

166. Центр транспортної логістики. Офіційний сайт. Узгоджений графік руху [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <http://uz-cargo.com/agreed-motion-graphic.html>

167. Kozachenko D., Vernigora R., Balanov V., Berezovy N., Yelnikova L., Germanyuk Yu.: Evaluation of the transition to the organization of freight trains traffic by the schedule // Transport Problems, Vol. 11, Issue 1 – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2016 – p.p. 41-48.

168. Козаченко, Д. М. Исследование потребности в вагонном парке для обеспечения перевозок массовых грузов по расписанию / Д. М. Козаченко // Збірник наук. праць Донецького ін-ту залізн. тр-ту. – 2013. – № 35. – С. 11-16.

169. Цуцков, Д. В. Выбор технологических параметров организации перевозочного процесса с использованием твёрдых ниток графика: Дис. канд. техн. наук / Д. В. Цуцков // Москва: МГУПС, 2005. – 227 с.

ДОДАТОК А
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Дніпровського
національного університету залізничного
транспорт імені академіка В. Лазаряна



Б. Є. Боднар

02 жовтня 2019 р.

АКТ

Про використання результатів дисертації Рустамова Рустама Шаіковича
на тему «Підвищення ефективності експлуатації
рухомого складу залізничного транспорту
при перевезенні зернових вантажів»

м. Дніпро

«01» жовтня 2019 р.

Цей акт складений про те, що у навчальному процесі Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна при підготовці магістрів за спеціальністю 275 «Транспортні технології» використовуються наукові та практичні результати, отримані в дисертації Рустамова Р.Ш., а саме:

1. Теоретичні результати дисертації використовуються при викладанні дисциплін «Іноваційні технології у вантажній та комерційній роботі транспорту», «Експлуатаційна робота залізниць в умовах демонополізації галузі», «Міжнародні транспортні коридори та технології перевезень».

2. Теоретичні та практичні результати дисертації використовуються також при виконанні дипломних магістерських робіт за спеціальністю 275 «Транспортні технології».

декан факультету УПП
к.т.н., доцент

Р. В. Вернигора

завідувач кафедри
«Транспортні вузли», к.т.н., доцент

М. І Березовий

завідувач кафедри
«Управління експлуатаційною роботою»
к.т.н., доцент

А.М. Огороков



**АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»
РЕГІОНАЛЬНА ФІЛІЯ «ОДЕСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»**

вул. Пантелеймонівська, 19 м. Одеса, 65012 тел. (+380 48) 727-42-50, факс (+380 48) 722-52-16
e-mail: postbox@odz.gov.ua

м. Одеса

«03» червня 2019

ДОВІДКА
про впровадження результатів дисертаційної роботи спешукача кафедри
«Транспортні вузли» Дніпровського національного університету
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Рустамова Рустама Шаіковича
на тему «Підвищення ефективності експлуатації
рухомого складу залізничного транспорту
при перевезенні зернових вантажів»

Службою перевезень регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця» було розглянуто методи та моделі, які розроблені у дисертаційній роботі Рустамова Рустама Шаіковича щодо удосконалення процесу залізничних перевезень зернових вантажів на експорт. У результаті обговорення положень дисертації встановлено:

– використання розробленої у дисертації методики визначення вузлових станцій для формування відправницьких маршрутів з зерном дозволяє скоротити експлуатаційні витрати, пов'язані з доставкою зерна від виробників у порти;

– імітаційна модель залізничної мережі, що була запропонована у дисертації, дозволяє оцінити ефективність різних технологій організації вагонопотоків з зерном та може стати основою для розробки відповідної автоматизованої системи керування;

– результати дисертаційної роботи Рустамова Р.Ш. прийняти до розгляду щодо можливості їх впровадження в службі перевезень регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця».

Начальник служби перевезень
регіональної філії «Одеська залізниця»
АТ «Укрзалізниця»



С.О. МІЩЕНКО

ДОДАТОК Б

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРТОВОГО ТЕРМІНАЛУ

Морський перевантажувальний комплекс компанії «Трансінвестсервіс» («ТІС») розташований на березі Малого Аджалицького лиману у 27 км на схід від Одеси. «ТІС» є одним з найбільш глибоководних портів України – глибина причалів біля терміналів становить від 15 до 16 м, площа території понад 200 га. «ТІС» оперує 8 причалами загальною довжиною понад 1800 м.

Група терміналів «ТІС» – це одна з найбільших приватних стивідорних компаній в Україні. У 2019 р. термінали компанії «ТІС» збільшили вантажообіг до рівня 33 млн. т. (+28,4% до 2018 р.).

В даний час «ТІС» представляє собою групу з 5 терміналів, кожен з яких відповідає за свій сегмент перевалки вантажів: «ТІС-Зерно», «ТІС-Міндобрива», «ТІС-Руда», «ТІС-Вугілля», «ТІС-Контейнерний термінал».

Перевантажувальний комплекс «ТІС» має найбільшу серед морських портів України власну залізничну мережу, зокрема – станцію Хімічна; загальна довжина залізничної під'їзної колії – близько 90 км, а власний парк маневрових локомотивів – більше 20 одиниць. Станцією примикання під'їзної колії «ТІС» є станція Чорноморська Одеської залізниці. Схема примикання під'їзної колії терміналу наведена на рис. Б.1.

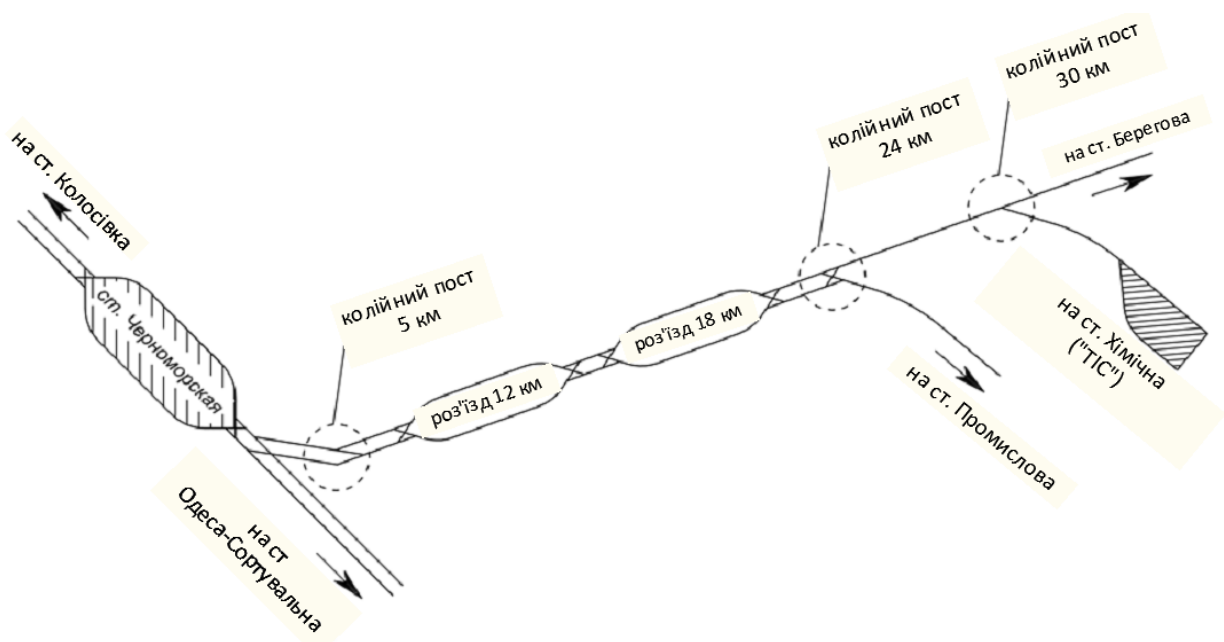


Рисунок Б.1 – Схема примикання під'їзної колії терміналу «ТІС»

Тарифним керівництвом №4 для виконання перевезень на адресу під'їзної колії «ТІС» передбачені наступні коди ЄСР [147]:

- Чорноморська (для ТІС) – 400108;
- Чорноморська (експ. для ТІС) – 403002.

Принципова схема під'їзної колії наведена на рис. Б.2.

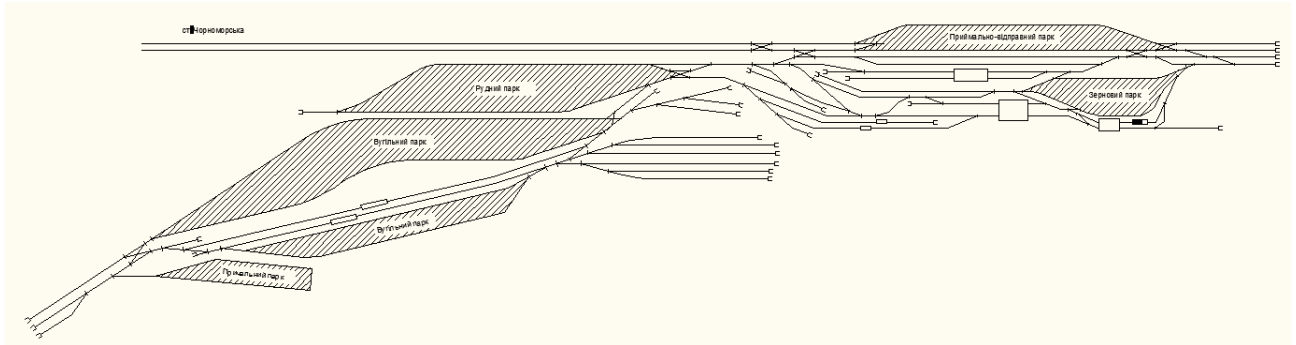


Рисунок Б.2 – Принципова схема під'їзної колії морського терміналу

Перевантаження зерна з залізничного та автомобільного транспорту на морський здійснюють термінали «ТІС-Зерно», «ТІС-Міндобрива», «МВ-Карго», «РісОйл». Характеристика терміналів наведена в табл. Б.1 [25].

Термінал	Ємність, тис. т	Потужність відвантаження на судно, т/год	Технічна потужність перевалки, млн. т./рік	Перевалка зерна у 2018/2019, млн. т.
ТІС-Зерно	460	2000	9,0	2,8
ТІС-Міндобрива	170	2500	3,5	1,5
МВ-Карго	290	2000	5,0	1,8
РісОйл	150	1000	2,8	0,4
РАЗОМ	1070	-	20,3	6,5

ДОДАТОК В

АНАЛІЗ ВАГОНОПОТОКІВ З ЗЕРНОМ

На основі обробки даних АСКВП-УЗ-Є про рух вагонів з зерном у 2016 р. було отримано подовбу матрицю навантаження зерна на експорт по 572 станціям залізничної мережі України. Фрагмент матриці наведено у табл. В.1.

Таблиця В.1 – Фрагмент матриці подовбу навантаження зерна

№ п/п	ЄСР Станції	Назва станції	Вагонів на рік	Діб навантаження	Середньодобове навантаження	01.01.2016	02.01.2016	...	01.04.2016	02.04.2016	...	01.07.2016	02.07.2016	...	01.10.2016	02.10.2016	...	26.12.2016	27.12.2016
1	42900	Прилуки	8576	257	33,4			...	29	59	...			...	26		...	6	45
2	42110	Христинівка	7774	306	25,4			...	23	8	...	2	2	...		36	...		
3	44520	Торопілька	7579	215	35,3			...	24	42	...			...	12	62	...	45	62
4	42670	Сула	6665	167	39,9			...	38	20	...	15		...	22	77	...	45	69
5	32300	Яготин	5927	240	24,7			...	47	51	...			...	30	11	...	11	
6	50800	Старобільськ	5403	187	28,9			...	12		...			...	23	23	...		
7	44780	Миргород	4955	194	25,5			...	15	3	...			...	23	6	...	35	24
8	33290	Камянець-Под	4909	152	32,3			...			...			...	22	...	48		
9	42730	Ромодан	4710	179	26,3			...			...	11		...	6	...			
10	42470	Пальміра	4686	225	20,8		36	...	11		...	23	32	...	23	15	...	15	
...
100	35030	Дубно	1180	98	12,0			...			...	12		...					
101	41410	Долинська	1177	152	7,7			...	3		...	5		...		2	...		
102	36300	Деренівка	1168	85	13,7			...			...			...	12		...		
103	43060	Гракове	1168	101	11,6			...	21	14	...			...	11		...	2	
...
200	36470	Чортків	621	93	6,7			...	2	3	...			...			...
201	45860	Божедарівка	620	64	9,7			...			...		4	...	4		...		
202	34460	Кагарлик	619	58	10,7			...		12	...			...			...
203	41350	Людмилівка	608	48	12,7			...			...			...		14	...		
...
300	43320	Бурлук	349	57	6,1			...			...			...			...
301	43270	Одноробівка	349	42	8,3			...	2		...			...			...	7	
302	41900	Каланчак	347	36	9,6			...		9	...			...			...
303	42410	Білозіря	345	62	5,6			...	6		...			...		5	...		
...
400	40980	Осипівка	174	18	9,7			...			...			...			...
401	40560	Роздільна-1	172	20	8,6			...			...			...		2	...	6	
402	46600	Нікополь	171	21	8,1			...			...		5	...			...
403	49900	Сватове	168	17	9,9			...		4	...			...			...
...
500	44830	Уманцівка	60	7	8,6			...			...			...	4		...		
501	41250	Нікель-Поб.	60	7	8,6			...			...		6	...			...
502	44950	Огульці	59	8	7,4			...			...			...			...
503	41460	Новий Буг	58	5	11,6			...			...			...			...
...
569	35000	Здолбунів	22	4	5,5			...			...			...		4	...		
570	47790	Трояни	22	3	7,3			...			...			...			...
571	42732	Шишаки	20	2	10,0			...	2		...			...			...
572	40790	Слободка	19	3	6,3			...			...			...			...		3
РАЗОМ/СЕРЕДНС			434823	61,1	10,4	0	90	...	140 1	169 5	...	386	298	...	132 1	148 2	...	868	452

Для прикладу, табл. В.2 наведено дані про подобове навантаження зерна по станції Прилуки, а також визначені коефіцієнти добової (внутрішньо місячної) нерівномірності.

Таблиця В.2 – Подобове навантаження зерна по станції Прилуки, вагонів

Місяць	Дата																															Разом	Середнє	Макс	Кдобр							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31											
Січень	0	0	0	12	48	15	33	6	0	32	2	32	27	21	45	0	95	32	0	23	47	39	0	39	38	27	0	29	27	17	11	697	22,5	95	4,23							
Лютий	65	68	0	41	23	24	44	33	12	0	12	33	17	21	20	0	8	0	41	60	0	63	0	41	51	0	17	2	0	-	-	696	24,0	68	2,83							
Березень	24	27	6	5	0	0	27	27	84	62	57	0	44	0	0	0	47	12	41	29	8	27	42	92	0	15	38	15	39	89	56	913	29,5	92	3,12							
Квітень	29	59	0	47	42	0	44	23	69	6	24	18	23	0	80	54	33	0	0	17	23	26	0	35	17	14	27	29	69	9	-	817	27,2	80	2,94							
Травень	105	26	53	0	47	63	44	35	53	51	9	24	21	12	6	0	33	29	42	51	68	9	20	56	0	0	15	51	77	92	51	1143	36,9	105	2,85							
Червень	36	108	23	8	21	23	18	59	0	0	42	0	0	29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	367	12,2	108	8,83							
Липень	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	2	0	17	0	0	0	9	0	39	0	12	0	15	0	14	3	0	18	0	42	18	200	6,5	42	6,51							
Серпень	9	65	47	0	0	39	38	0	14	3	18	0	21	0	21	0	0	0	30	14	8	12	29	0	26	12	0	0	0	2	0	408	13,2	65	4,94							
Вересень	0	24	39	0	56	3	0	0	0	45	0	11	0	0	0	39	0	0	0	45	21	8	6	30	0	0	15	41	60	17	-	460	15,3	60	3,91							
Жовтень	26	0	47	15	35	53	50	17	41	17	12	18	20	30	0	14	8	11	11	9	29	30	50	11	18	24	75	0	23	18	27	739	23,8	75	3,15							
Листопад	35	50	41	29	30	38	32	21	33	8	20	29	15	29	29	41	23	39	32	27	33	32	36	86	18	32	45	33	29	45	-	990	33,0	86	2,61							
Грудень	114	0	42	53	54	32	36	30	102	15	0	0	81	38	29	119	27	15	90	21	38	44	68	14	33	6	45	0	0	0	1146	37,0	119	3,22								
ПІДСУМОК																																							8576	23,4	119	4,09

ДОДАТОК Г
ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ДОСТАВКУ ЗЕРНА У ПОРТИ
АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

Розрахунок витрат на перевезення 1 т зерна автотранспортом наведено у табл. Г.1.

Таблиця Г.1 – Розрахунок витрат на перевезення 1 т зерна автотранспортом

Відстань, км			Вартість перевезення	Сертифікати			Разом, грн/т
від	до	середня		Якість	Фітосаніт.	Карант.	
0	10	5	48,79	6,2	2,5	2,2	59,69
11	20	15	75,07	6,2	2,5	2,2	85,97
21	30	25	99,77	6,2	2,5	2,2	110,67
31	40	35	123,05	6,2	2,5	2,2	133,95
41	50	45	145,06	6,2	2,5	2,2	155,96
51	60	55	165,92	6,2	2,5	2,2	176,82
61	70	65	185,74	6,2	2,5	2,2	196,64
71	80	75	204,61	6,2	2,5	2,2	215,51
81	90	85	222,62	6,2	2,5	2,2	233,52
91	100	95	239,83	6,2	2,5	2,2	250,73
101	120	110	264,31	6,2	2,5	2,2	275,21
121	140	130	294,72	6,2	2,5	2,2	305,62
141	160	150	322,94	6,2	2,5	2,2	333,84
161	180	170	349,27	6,2	2,5	2,2	360,17
181	200	190	373,97	6,2	2,5	2,2	384,87
201	220	210	397,22	6,2	2,5	2,2	408,12
221	240	230	419,22	6,2	2,5	2,2	430,12
241	260	250	440,10	6,2	2,5	2,2	451,00
261	280	270	459,99	6,2	2,5	2,2	470,89
281	300	290	479,00	6,2	2,5	2,2	489,90
301	330	315	501,64	6,2	2,5	2,2	512,54
331	360	345	527,39	6,2	2,5	2,2	538,29
361	390	375	551,77	6,2	2,5	2,2	562,67
391	420	405	574,97	6,2	2,5	2,2	585,87
421	450	435	597,12	6,2	2,5	2,2	608,02
451	480	465	618,36	6,2	2,5	2,2	629,26
481	510	495	638,79	6,2	2,5	2,2	649,69
511	540	525	658,48	6,2	2,5	2,2	669,38
541	570	555	677,53	6,2	2,5	2,2	688,43
571	600	585	695,98	6,2	2,5	2,2	706,88
601	650	625	719,76	6,2	2,5	2,2	730,66
651	700	675	748,32	6,2	2,5	2,2	759,22
701	750	725	775,75	6,2	2,5	2,2	786,65
751	800	775	802,19	6,2	2,5	2,2	813,09
801	850	825	827,76	6,2	2,5	2,2	838,66
851	900	875	852,57	6,2	2,5	2,2	863,47
901	950	925	876,69	6,2	2,5	2,2	887,59
951	1000	975	900,20	6,2	2,5	2,2	911,10
1001	1070	1035	927,68	6,2	2,5	2,2	938,58
1071	1140	1105	958,86	6,2	2,5	2,2	969,76
1141	1210	1175	989,18	6,2	2,5	2,2	1000,08

ДОДАТОК Д
ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ НА ДОСТАВКУ ЗЕРНА У ПОРТИ
ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ

Д.1 Визначення додаткових плат та зборів при перевезенні зерна

В табл. Д.1 наведено розрахунок витрат за користування вагонами перевізника (ЦТЛ) при їх навантаженні, а в табл. Д.2 – під час вивантаження (за даними 2016 р.).

Таблиця Д.1 – Визначення середньої ставки за користування вагонами ЦТЛ при їхньому навантаженні

Простій, год.	Ставка, грн.	Число, ваг.	Витрати, тис.грн.	Простій, год.	Ставка, грн.	Число, ваг.	Витрати, тис. грн.
2	1,60	2809	4	25	32,70	8895	291
3	2,40	721	2	26	36,20	10975	397
4	3,20	407	1	27	39,70	11196	444
5	4,50	423	2	28	43,20	10710	463
6	5,80	402	2	29	46,70	9330	436
7	7,10	669	5	30	50,20	10153	510
8	8,40	1118	9	31	53,70	9750	524
9	9,70	1383	13	32	57,20	8912	510
10	11,00	1556	17	33	60,70	9745	592
11	12,30	2599	32	34	64,20	9682	622
12	13,60	2932	40	35	67,70	9492	643
13	14,90	3928	59	36	71,20	9444	672
14	16,20	4856	79	37	82,70	9216	762
15	17,50	5152	90	38	95,70	10084	965
16	18,80	5024	94	39	110,20	9468	1043
17	20,10	5886	118	40	126,20	8941	1128
18	21,40	6093	130	41	142,20	8178	1163
19	22,70	7324	166	42	158,20	7713	1220
20	24,00	6627	159	43	174,20	7966	1388
21	25,30	7161	181	44	190,20	7422	1412
22	26,60	8114	216	45	206,20	7861	1621
23	27,90	8223	229	Більше 45	496,43	147319	73134
24	29,20	8963	262	-	-	-	-
РАЗОМ						434823	91850

Таким чином, середня ставка за користування вагоном ЦТЛ під час навантаження зерна складає $91850 \cdot 1000 / 434823 = 211,23$ грн.

Таблиця Д.2 – Визначення середньої ставки за користування вагонами ЦТЛ при вивантаженні

Простій, год.	Ставка, грн.	Число, ваг.	Витрати, тис.грн.	Простій, год.	Ставка, грн.	Число, ваг.	Витрати, тис. грн.
3	2,40	13	0,03	25	32,70	16794	549
4	3,20	0	0,00	26	36,20	16399	594
5	4,50	21	0,09	27	39,70	16683	662
6	5,80	142	0,82	28	43,20	12949	559
7	7,10	336	2,39	29	46,70	12598	588
8	8,40	878	7,38	30	50,20	11624	584
9	9,70	1776	17,22	31	53,70	11842	636
10	11,00	3049	33,54	32	57,20	10501	601
11	12,30	4454	54,78	33	60,70	9394	570
12	13,60	5946	80,87	34	64,20	9227	592
13	14,90	7866	117,21	35	67,70	7965	539
14	16,20	10504	170,17	36	71,20	7678	547
15	17,50	12630	221,03	37	82,70	6478	536
16	18,80	13557	254,87	38	95,70	5896	564
17	20,10	14647	294,41	39	110,20	5888	649
18	21,40	16954	362,81	40	126,20	5385	680
19	22,70	16867	382,88	41	142,20	4217	600
20	24,00	17936	430,47	42	158,20	5102	807
21	25,30	17171	434,42	43	174,20	4243	739
22	26,60	18753	498,84	44	190,20	4066	773
23	27,90	17800	496,61	45	206,20	3860	796
24	29,20	17422	508,71	Більше 45	377,55	47313	17863
РАЗОМ						434823	35398

Таким чином, середня ставка за користування вагоном ЦТЛ під час вивантаження зерна складає $35398 \cdot 1000 / 434823 = 81,41$ грн.

Вартість запірно-пломбувальних пристроїв (ЗПП) на початок 2019 р. становила 47,16 грн [141], а при встановленні на вагон-зерновоз 7 ЗПП їх вартість буде становити $c_{зпп} = 330,12$ грн, тобто 4,94 грн на 1 т зерна.

Як правило, елеватори обслуговуються локомотивами залізниці. Ставка плати за роботу локомотива становить 292,6 грн за кожні повні й неповні 0,5 години [54]. З урахуванням ПДВ і встановленого коефіцієнта до збірника тарифів (3,023), за умови, що локомотив із групою вагонів працює 1 годину, плата за послуги локомотива буде становити: $c_{лок} = 1,2 \cdot 292,6 \cdot 3,023 \cdot 2 = 2112,87$ грн. У перерахуванні на 1 т зерна це 31,78 грн.

Ставка плати за охорону вагонів у відповідності зі Збірником тарифів становить [54] 0,87 грн. за 1 ваг-км. З урахуванням коефіцієнта до збірника та-

рифів [138] і ПДВ у перерахуванні на 1 т-км вартості охорони вантажів буде становити 0,047 грн за т-км.

Крім безпосередньо транспортних витрат під час перевезення зернових залізничним транспортом відправники несуть наступні додаткові витрати:

- додаткові витрати, пов'язані з підвозом зерна до елеватора автомобільним транспортом і перевантаженням на залізничний – 86,3 грн за 1 т [87];
- сертифікат якості зерна на експортно-імпорتنні операції – 414,16 грн. за вагон або 6,2 грн за 1 т;
- фіто-санітарний сертифікат – 167 грн за вагон, або 2,5 грн за 1 т;
- карантинний сертифікат – 147 грн за вагон, або 2,2 грн за 1 т.

Д.2 Визначення витрат на перевезення зерна у вагонах ЦТЛ

В табл. Д.3 наведено розрахунок витрат при організації залізничних перевезень зерна у вагонах перевізника (ЦТЛ).

Таблиця Д.3 – Визначення витрат, пов'язаних з залізничними перевезенням зерна в порт у вагонах ЦТЛ

Відстань, км		Залізничний тариф								Додаткові ви- трати		Разом, грн./т
		Завантажений рейс			Порожній рейс			грн/ваг	грн/т	Залізн., грн./т	Докум, грн./т	
від	до	Інфр.	$T_{\text{ван}}$ $+T_{\text{дод.}}$ діб	Вагон ЦТЛ	Тариф	$T_{\text{пор}}$ $+T_{\text{дод.}}$ діб	Вагон ЦТЛ					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	10	1464	2	2532	50	2	2532	6577	98,5	149,4	10,9	258,8
11	20	1597	2	2532	74	2	2532	6735	100,8	149,9	10,9	261,6
21	30	1868	2	2532	123	2	2532	7056	105,6	150,4	10,9	266,9
31	40	2139	2	2532	173	2	2532	7376	110,4	150,8	10,9	272,2
41	50	2410	2	2532	173	2	2532	7647	114,5	151,3	10,9	276,7
51	60	2681	2	2532	223	2	2532	7968	119,3	151,8	10,9	282,0
61	70	2950	2	2532	272	2	2532	8286	124,0	152,3	10,9	287,2
71	80	3221	2	2532	322	2	2532	8607	128,8	152,7	10,9	292,5
81	90	3493	2	2532	371	2	2532	8928	133,6	153,2	10,9	297,7
91	100	3764	2	2532	421	2	2532	9248	138,4	153,7	10,9	303,0
101	120	4168	2	2532	470	2	2532	9702	145,2	154,4	10,9	310,5
121	140	4427	2	2532	544	2	2532	10035	150,2	155,3	10,9	316,4
141	160	4668	2	2532	643	2	2532	10375	155,3	156,3	10,9	322,5
161	180	4918	2	2532	742	2	2532	10724	160,5	157,2	10,9	328,6
181	200	5094	2	2532	831	2	2532	10989	164,5	158,1	10,9	333,5
201	220	5401	3	3798	920	2	2532	12651	189,4	159,1	10,9	359,4
221	240	5706	3	3798	1007	3	3798	14309	214,2	160,0	10,9	385,1
241	260	6009	3	3798	1007	3	3798	14612	218,7	161,0	10,9	390,6
261	280	6310	3	3798	1094	3	3798	14999	224,5	161,9	10,9	397,3
281	300	6608	3	3798	1178	3	3798	15382	230,3	162,8	10,9	404,0
301	330	6977	3	3798	1262	3	3798	15835	237,0	164,0	10,9	412,0
331	360	7417	3	3798	1447	3	3798	16460	246,4	165,4	10,9	422,7
361	390	7851	3	3798	1447	3	3798	16894	252,9	166,8	10,9	430,6

Продовження таблиці Д.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
391	420	8281	4	5064	1568	3	3798	18711	280,1	168,2	10,9	459,2
421	450	8709	4	5064	1687	3	3798	19259	288,3	169,6	10,9	468,8
451	480	9135	4	5064	1805	4	5064	21068	315,4	171,1	10,9	497,3
481	510	9556	4	5064	1922	4	5064	21606	323,4	172,5	10,9	506,8
511	540	9978	4	5064	2037	4	5064	22143	331,5	173,9	10,9	516,3
541	570	10397	4	5064	2152	4	5064	22678	339,5	175,3	10,9	525,7
571	600	10815	4	5064	2267	4	5064	23809	356,4	176,7	10,9	544,0
601	650	11369	5	6330	2379	4	5064	25143	376,4	178,6	10,9	565,9
651	700	12062	5	6330	2492	4	5064	25948	388,4	180,9	10,9	580,3
701	750	12752	5	6330	2642	5	6330	28055	420,0	183,3	10,9	614,2
751	800	13443	5	6330	2829	5	6330	28932	433,1	185,6	10,9	629,6
801	850	14136	6	7596	3015	5	6330	31076	465,2	188,0	10,9	664,1
851	900	14828	6	7596	3201	5	6330	31955	478,4	190,3	10,9	679,6
901	950	15521	6	7596	3387	6	7596	34099	510,5	192,7	10,9	714,0
951	1000	16215	6	7596	3572	6	7596	34980	523,6	195,0	10,9	729,6
1001	1070	17052	7	8862	3758	6	7596	37268	557,9	197,8	10,9	766,6
1071	1140	18033	7	8862	3944	6	7596	38435	575,4	201,1	10,9	787,4
1141	1210	19015	7	8862	4168	7	8862	40907	612,4	204,4	10,9	827,7
1211	1280	20002	8	10128	4430	7	8862	43422	650,0	207,7	10,9	868,7
1281	1350	20994	8	10128	4693	7	8862	44676	668,8	211,0	10,9	890,7
1351	1420	21989	8	10128	4957	8	10128	47202	706,6	214,3	10,9	931,8
1421	1490	22987	9	11394	4957	8	10128	49466	740,5	217,6	10,9	969,0
1491	1590	24205	9	11394	5487	8	10128	51213	766,7	221,6	10,9	999,1
1591	1690	25641	10	12660	5753	9	11394	55448	830,1	226,3	10,9	1067,2
1691	1790	27083	10	12660	6078	9	11394	57215	856,5	231,0	10,9	1098,4
1791	1890	28529	11	13926	6461	10	12660	61576	921,8	235,7	10,9	1168,4
1891	1990	29978	11	13926	6845	10	12660	63409	949,2	240,4	10,9	1200,5
1991	2090	31433	12	15192	7231	10	12660	66516	995,7	245,1	10,9	1251,7

Д.3 Визначенні витрат на перевезення зерна у орендованих вагонах

Вартість оренди вагонів власності приватних компаній у 2018 р. у середньому склала 1400 [116]. У випадку довгостроковій оренді вагонів орендар також сплачує їх поточні ремонти – близько 15000 грн/рік [142]. Таким чином, річні витрати на оренду 1 вагона-зерновоза складуть: $365 \cdot 1400 + 15000 = 526$ тис. грн. З врахуванням середнього обігу вагону 10 діб та експлуатації протягом року 330 діб (90%) його річна продуктивність складе $P_{\text{річ}} = 330 / 10 \cdot 66,8 \text{ т} = 2204 \text{ т}$. Отже, витрати, пов'язані з орендою вагонів, складуть $526 \text{ 000} / 2204 = 238,6$ грн/т. Розрахунок загальних витрат при перевезенні зерна у орендованих вагонах наведено у табл. Д.4.

Таблиця Д.4 – Визначення витрат, пов'язаних з залізничними перевезенням зерна в порт у орендованих вагонах приватних компаній

Відстань		Залізничний тариф				Оренда, грн/т	Додаткові, грн./т		Разом, грн./т
від	до	Інфр	Порож	грн/ваг	грн/т		Залізн.	Докум.	
0	10	1464	50	1513	22,7	238,6	133,5	10,9	405,7
11	20	1597	74	1671	25,0	238,6	134,0	10,9	408,5
21	30	1868	123	1992	29,8	238,6	134,5	10,9	413,8
31	40	2139	173	2312	34,6	238,6	135,0	10,9	419,1
41	50	2410	223	2633	39,4	238,6	135,4	10,9	424,3
51	60	2681	272	2953	44,2	238,6	135,9	10,9	429,6
61	70	2950	322	3272	49,0	238,6	136,4	10,9	434,9
71	80	3221	371	3593	53,8	238,6	136,8	10,9	440,1
81	90	3493	421	3913	58,6	238,6	137,3	10,9	445,4
91	100	3764	470	4234	63,4	238,6	137,8	10,9	450,7
101	120	4168	544	4712	70,5	238,6	138,5	10,9	458,5
121	140	4427	643	5070	75,9	238,6	139,4	10,9	464,8
141	160	4668	742	5410	81,0	238,6	140,4	10,9	470,9
161	180	4918	831	5749	86,1	238,6	141,3	10,9	476,9
181	200	5094	920	6014	90,0	238,6	142,2	10,9	481,8
201	220	5401	1007	6408	95,9	238,6	143,2	10,9	488,6
221	240	5706	1094	6800	101,8	238,6	144,1	10,9	495,4
241	260	6009	1178	7187	107,6	238,6	145,1	10,9	502,2
261	280	6310	1262	7572	113,3	238,6	146,0	10,9	508,9
281	300	6608	1345	7953	119,1	238,6	146,9	10,9	515,5
301	330	6977	1447	8424	126,1	238,6	148,1	10,9	523,7
331	360	7417	1568	8985	134,5	238,6	149,5	10,9	533,5
361	390	7851	1687	9539	142,8	238,6	150,9	10,9	543,2
391	420	8281	1805	10086	151,0	238,6	152,3	10,9	552,8
421	450	8709	1922	10631	159,1	238,6	153,8	10,9	562,4
451	480	9135	2037	11172	167,2	238,6	155,2	10,9	571,9
481	510	9556	2152	11709	175,3	238,6	156,6	10,9	581,4
511	540	9978	2266	12244	183,3	238,6	158,0	10,9	590,8
541	570	10397	2379	12777	191,3	238,6	159,4	10,9	600,2
571	600	10815	2492	13307	199,2	238,6	160,8	10,9	609,5
601	650	11369	2642	14012	209,8	238,6	162,7	10,9	621,9
651	700	12062	2829	14891	222,9	238,6	165,0	10,9	637,5
701	750	12752	3015	15767	236,0	238,6	167,4	10,9	652,9
751	800	13443	3201	16644	249,2	238,6	169,7	10,9	668,4
801	850	14136	3387	17522	262,3	238,6	172,1	10,9	683,9
851	900	14828	3572	18400	275,5	238,6	174,4	10,9	699,4
901	950	15521	3758	19278	288,6	238,6	176,8	10,9	714,9
951	1000	16215	3944	20159	301,8	238,6	179,1	10,9	730,4
1001	1070	17052	4168	21220	317,7	238,6	182,0	10,9	749,1
1071	1140	18033	4430	22463	336,3	238,6	185,2	10,9	771,0
1141	1210	19015	4693	23708	354,9	238,6	188,5	10,9	793,0
1211	1280	20002	4957	24959	373,6	238,6	191,8	10,9	815,0
1281	1350	20994	5221	26215	392,4	238,6	195,1	10,9	837,1
1351	1420	21989	5487	27476	411,3	238,6	198,4	10,9	859,2
1421	1490	22987	5753	28740	430,2	238,6	201,7	10,9	881,4
1491	1590	24205	6078	30282	453,3	238,6	205,7	10,9	908,5
1591	1690	25641	6461	32101	480,6	238,6	210,4	10,9	940,5
1691	1790	27083	6845	33928	507,9	238,6	215,1	10,9	972,5
1791	1890	28529	7231	35760	535,3	238,6	219,8	10,9	1004,6
1891	1990	29978	7617	37595	562,8	238,6	224,5	10,9	1036,8
1991	2090	31433	8005	39438	590,4	238,6	229,2	10,9	1069,1

Д.4 Визначення витрат на перевезення у нових власних вагонах

Річна плата за користування вагоном (без ПДВ) при забезпеченні умови беззбиткової роботи складається з лізингового платежу, витрат на ремонти, витрат, пов'язаних із простоєм вагона й інших операційних витрат. Крім того, враховується плата ПДВ (20%).

Розрахунок витрат, пов'язаних з перевезенням зерна (1 т) у нових власних вагонів-зерновозів, виконано, виходячи з наступних даних [116, 142]:

- вартість нового вагон-зерновоза – 50, 60, 70 тис. USD;
- термін експлуатації – 30 років;
- річні амортизаційні витрати – 3,33%;
- середньорічні витрати на поточний ремонт – 15 000 грн;
- середньорічні витрати на деповський ремонт – 16 600 грн;
- середньорічні витрати на капітальний ремонт – 6300 грн;
- тривалість експлуатації вагону протягом року – $T_{\text{екс}} = 330$ діб;
- операційні витрати на 1 обіг вагону – $c_{\text{оп}} = 300$ грн;
- витрати, пов'язані з простоєм вагонів у міжсезоння компенсуються у пікові періоди перевезень;
- середній обіг вагону – $\theta_{\text{ваг}} = 10$ діб.
- ставка лізингової компанії – 5%, 7%, 9%;
- тривалість фінансового лізингу – 10 років;
- середньорічна кількість перевезеного зерна – 2204 т.

Річний лізинговий платіж визначається по формулі:

$$L = C \cdot \frac{R}{1 - (1 + R)^{-T}}, \quad (\text{Д.1})$$

де L – річний лізинговий платіж із ПДВ, USD;

C – ціна вагона із ПДВ, USD;

R – процентна ставка лізингової компанії;

T – строк лізингу, років.

Загальнорічні витрати на оперування вагоном можна визначити як $S_{\text{оп}} = 330 \cdot 300 / 10 = 9900$ грн/рік.

Розрахунки добової плати за вагон представлено в табл. Д.5.

Таблиця Д.5 – Визначення плати за користування новим власним зерновозом

Показник	Варіанти лізингу																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Вартість вагона, тис. USD	50	60	70	50	60	70	50	60	70	50	60	70	50	60	70	50	60	70
Ставка лізингу, %	5	5	5	7	7	7	9	9	9	5	5	5	7	7	7	9	9	9
Строк лізингу, років	8	8	8	8	8	8	8	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Плата лізингу, USD/рік	6447	7736	9025	6978	8373	9769	7528	9034	10539	5396	6475	7554	5932	7119	8305	6493	7791	9090
Амортизація, USD/рік	1665	1998	2331	1665	1998	2331	1665	1998	2331	1665	1998	2331	1665	1998	2331	1665	1998	2331
Ремонти, USD/рік	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404	1404
Операційні, USD/рік	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367	367
Разом без ПДВ, USD/рік	9882	11504	13127	10413	12142	13870	10963	12802	14641	8831	10244	11656	9368	10887	12407	9928	11559	13191
Разом з ПДВ, USD/рік	11859	13805	15752	12496	14570	16644	13156	15363	17569	10598	12292	13987	11241	13065	14888	11913	13871	15829
Добова плат, USD/рік	35,9	41,8	47,7	37,9	44,2	50,4	39,9	46,6	53,2	32,1	37,2	42,4	34,1	39,6	45,1	36,1	42,0	48,0
Плата за 1 т, USD/т	5,4	6,3	7,1	5,7	6,6	7,6	6,0	7,0	8,0	4,8	5,6	6,3	5,1	5,9	6,8	5,4	6,3	7,2
Плата за 1 т, грн/т	145,3	169,1	193,0	153,1	178,5	203,9	161,2	188,2	215,2	129,8	150,6	171,3	137,7	160,0	182,4	145,9	169,9	193,9

Таким чином, залежно від варіанта лізингу, добова плата за користування новим вагоном коливається в межах 32,1...53,2 USD, а середня добова ставка плати за новий вагон становить 41,9 USD. З врахуванням річної продуктивності вагона 2204 т середня плата за користування новим вагоном, що припадає на 1 т перевезеного зерна, складає 6,3 USD або 169,4 грн.

Розрахунок витрат на перевезення зерна у нових власних вагонах наведено у табл. Д.6.

Таблиця Д.6 – Визначення витрат, пов'язаних з залізничними перевезенням зерна в порт у нових власних вагонах приватних компаній

Відстань		Залізничний тариф				Вагон, грн/т	Додаткові, грн./т		Разом, грн./т
від	до	Інфр	Порож	грн/ваг	грн/т		Залізн.	Докум.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	10	1464	50	1513	22,7	169,4	133,5	10,9	336,5
11	20	1597	74	1671	25,0	169,4	134,0	10,9	339,3
21	30	1868	123	1992	29,8	169,4	134,5	10,9	344,6
31	40	2139	173	2312	34,6	169,4	135,0	10,9	349,9
41	50	2410	223	2633	39,4	169,4	135,4	10,9	355,1
51	60	2681	272	2953	44,2	169,4	135,9	10,9	360,4
61	70	2950	322	3272	49,0	169,4	136,4	10,9	365,7
71	80	3221	371	3593	53,8	169,4	136,8	10,9	370,9
81	90	3493	421	3913	58,6	169,4	137,3	10,9	376,2
91	100	3764	470	4234	63,4	169,4	137,8	10,9	381,5
101	120	4168	544	4712	70,5	169,4	138,5	10,9	389,3
121	140	4427	643	5070	75,9	169,4	139,4	10,9	395,6
141	160	4668	742	5410	81,0	169,4	140,4	10,9	401,7
161	180	4918	831	5749	86,1	169,4	141,3	10,9	407,7
181	200	5094	920	6014	90,0	169,4	142,2	10,9	412,6
201	220	5401	1007	6408	95,9	169,4	143,2	10,9	419,4
221	240	5706	1094	6800	101,8	169,4	144,1	10,9	426,2
241	260	6009	1178	7187	107,6	169,4	145,1	10,9	433,0
261	280	6310	1262	7572	113,3	169,4	146,0	10,9	439,7
281	300	6608	1345	7953	119,1	169,4	146,9	10,9	446,3
301	330	6977	1447	8424	126,1	169,4	148,1	10,9	454,5
331	360	7417	1568	8985	134,5	169,4	149,5	10,9	464,3
361	390	7851	1687	9539	142,8	169,4	150,9	10,9	474,0
391	420	8281	1805	10086	151,0	169,4	152,3	10,9	483,6
421	450	8709	1922	10631	159,1	169,4	153,8	10,9	493,2
451	480	9135	2037	11172	167,2	169,4	155,2	10,9	502,7
481	510	9556	2152	11709	175,3	169,4	156,6	10,9	512,2
511	540	9978	2266	12244	183,3	169,4	158,0	10,9	521,6
541	570	10397	2379	12777	191,3	169,4	159,4	10,9	531,0
571	600	10815	2492	13307	199,2	169,4	160,8	10,9	540,3
601	650	11369	2642	14012	209,8	169,4	162,7	10,9	552,7
651	700	12062	2829	14891	222,9	169,4	165,0	10,9	568,3
701	750	12752	3015	15767	236,0	169,4	167,4	10,9	583,7
751	800	13443	3201	16644	249,2	169,4	169,7	10,9	599,2
801	850	14136	3387	17522	262,3	169,4	172,1	10,9	614,7

Продовження таблиці Д.6

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
851	900	14828	3572	18400	275,5	169,4	174,4	10,9	630,2
901	950	15521	3758	19278	288,6	169,4	176,8	10,9	645,7
951	1000	16215	3944	20159	301,8	169,4	179,1	10,9	661,2
1001	1070	17052	4168	21220	317,7	169,4	182,0	10,9	679,9
1071	1140	18033	4430	22463	336,3	169,4	185,2	10,9	701,8
1141	1210	19015	4693	23708	354,9	169,4	188,5	10,9	723,8
1211	1280	20002	4957	24959	373,6	169,4	191,8	10,9	745,8
1281	1350	20994	5221	26215	392,4	169,4	195,1	10,9	767,9
1351	1420	21989	5487	27476	411,3	169,4	198,4	10,9	790,0
1421	1490	22987	5753	28740	430,2	169,4	201,7	10,9	812,2
1491	1590	24205	6078	30282	453,3	169,4	205,7	10,9	839,3
1591	1690	25641	6461	32101	480,6	169,4	210,4	10,9	871,3
1691	1790	27083	6845	33928	507,9	169,4	215,1	10,9	903,3
1791	1890	28529	7231	35760	535,3	169,4	219,8	10,9	935,4
1891	1990	29978	7617	37595	562,8	169,4	224,5	10,9	967,6
1991	2090	31433	8005	39438	590,4	169,4	229,2	10,9	999,9
2091	2190	32888	8392	41281	618,0	169,4	233,9	10,9	1032,2

ДОДАТОК Е

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «NITKI.EXE»

Головне вікно програми «Nitki.exe» містить групу вкладок, кнопки «Старт», «Показати» і головне меню.

Вкладка «Вихідні дані» (рис. 3.5) містить панелі для введення вихідних даних для моделювання, таких як: «Навантаження», «Накопичення завантаженого состава», «Накопичення порожнього состава», «Вивантаження», «Прямування завантажених»; «Прямування порожніх» тощо. Кожна панель містить поля для введення даних для моделювання тривалості виконання технологічних операцій та параметрів вагонів і системи обслуговування: закону розподілу, математичного сподівання, середнього квадратичного відхилення тощо.

Вкладка «Стан», яка приведена на рис. Е.1, містить параметри моделі, що оновлюються в системному часі: кількість порожніх і навантажених вагонів; кількість вагонів під навантаженням; кількість завантажених вагонів під накопиченням; кількість завантажених вагонів, готових до відправки; кількість завантажених вагонів, що знаходяться в дорозі; кількість вагонів під вивантаженням; кількість порожніх вагонів під накопиченням; кількість порожніх вагонів, готових до відправки; кількість порожніх вагонів, що знаходяться на шляху прямування.

Старт		Показати	
Исходные данные	График	Состояние	Оборот вагонов
Накопление вагонов	Следование груженных	Следование порожних	
Загрузка			
Груженные вагоны	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Порожние вагоны	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Процесс			
Погрузка	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Накопление груженных	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Отправление груженных	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Следование груженных	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Выгрузка	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Накопление порожних	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Отправление порожних	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Следование порожних	0	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Рисунок Е.1 – Вкладка «Стан»

Вкладка «Обіг вагонів» (рис. Е.2), містить результати моделювання: обіг вагона в системі і його компоненти: простій вагонів під навантаженням; простій завантажених вагонів під накопиченням; простій завантажених вагонів під операціями відправлення; тривалість руху навантажених вагонів, простій вагонів під вивантаженням; простій порожніх вагонів під накопиченням; простій порожніх вагонів під операціями відправлення; тривалість руху порожніх вагонів; загальний обіг вагонів.

Стоп		Показать							
Исходные данные	График	Состояние	Оборот вагонов	Накопление вагонов	Следование грузенных	Следование порожних			
Средние значения	25.96	30.40	3.13	74.14	32.47	31.99	3.45	65.68	267.22
Минимальное число вагонов в накоплении	0		0						
56517	57423	59852	60456	65097	65878	67995	68210	72683	
56517	58248	59852	60456	65097	65879	67995	68210	72683	
56517	57270	59852	60456	65097	66225	67995	68210	72683	
56517	57149	59852	60456	65097	66239	67995	68210	72683	
56517	57226	59852	60456	65097	66268	67995	68210	72683	
56517	58253	59852	60456	65097	66288	67995	68210	72683	

Рисунок Е.2 – Вкладка «Обіг вагонів»

Вкладка «Накопичення вагонів» (рис. Е.3), містить інформацію про кількість вагонів (навантажених і порожніх), що знаходяться в накопиченні на кожному етапі моделювання.

Стоп		Показать				
Исходные данные	График	Состояние	Оборот вагонов	Накопление вагонов	Следование грузенных	Следование порожних
12001	2	0				
12002	2	0				
12003	2	0				
12004	2	0				
12005	2	0				
12006	2	0				
12007	2	0				
12008	2	0				
12009	2	0				
12010	2	0				
12011	2	0				
12012	2	0				
12013	2	0				
12014	2	0				
12015	2	0				
12016	2	0				
12017	2	0				
12018	2	0				
12019	2	0				
12020	2	0				
12021	2	0				
12022	2	0				
12023	2	0				
12024	2	0				
12025	2	0				
12026	2	0				
12027	2	0				
12028	2	0				
12029	2	0				
12030	2	0				
12031	2	0				
12032	2	0				

Рисунок Е.3 – Вкладка «Накопичення вагонів»

Вкладка «Прямуювання завантажених» (рис. Е.4) містить інформацію про кількість порожніх вагонів, які прямують в кожному поїзді.



Рисунок Е.4 – Вкладка «Прямуювання завантажених»

Вкладка «Прямуювання порожніх» (рис. Е.5) містить інформацію про кількість порожніх вагонів, які прямують в кожному поїзді.

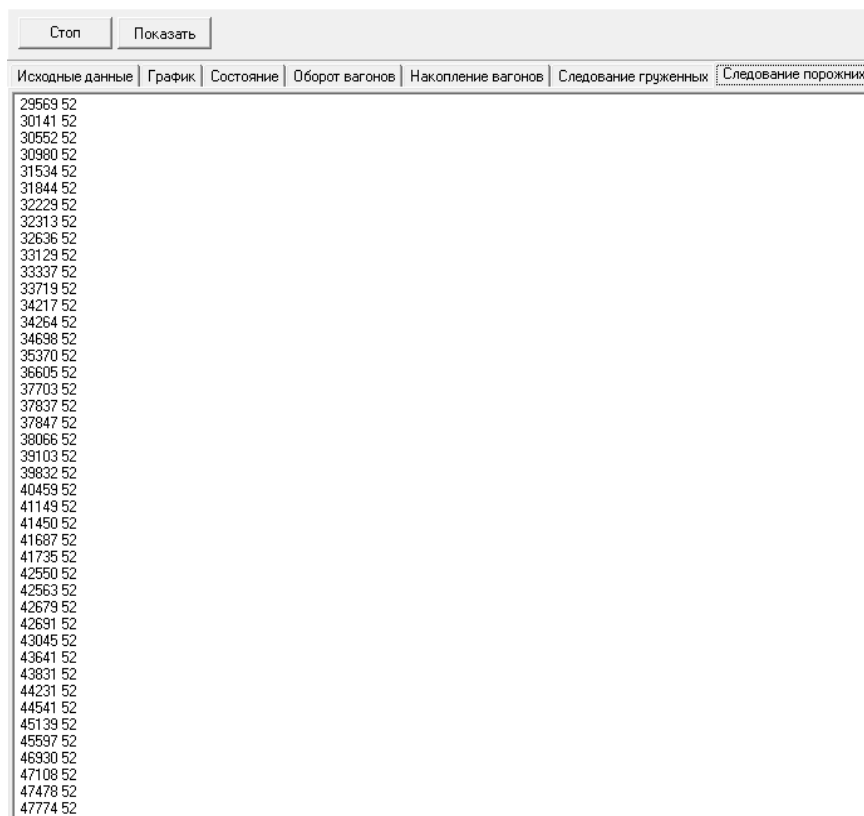


Рисунок Е.5 – Вкладка «Прямуювання порожніх»

ДОДАТОК Ж

ХАРАКТЕРИСТИКА ЗЕРНОВОГО ЕЛЕВАТОРА

Степанівський елеватор, що розташований у смт. Степанівка Сумської області та належить компанії UkrLandFarming, є найбільшим лінійним елеватором в Україні – ємність його 34 силосів – для зберігання зерна 488 тис. т. Елеватор оснащений сучасним обладнанням для зберігання зерна [25]:

- 6 зерносушилок потужністю 670 т/год;
- 5 очисних сепараторів потужністю 1370 т/год;
- транспортне обладнання (стрічкові транспортери) потужністю 600т/год;
- система очистки повітря від пилу;
- лабораторія перевірки якості зерна;
- 3 пункти приймання зерна з автотранспорту потужністю 1375 т/год;
- 2 пункти відвантаження на автотранспорт – 5000 т/доб;
- автоматичні авто ваги;
- 1 пункт приймання зерна з залізничного транспорту – 1500 т/год;
- 2 пункти відвантаження у вагони (по 8 вагонів) – 5000 т/доб;
- вагонні ваги;
- власний маневровий локомотив.

Потужності елеваторної та залізничної інфраструктури забезпечують можливість навантаження маршрутного поїзда з 54 вагонів за 15 годин. Елеватор має власну залізничну під'їзну колію, що примикає до станції Торопилівка Південної залізниці.

ДОДАТОК 3

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ДАНИХ ПРО ОБІГ ЗЕРНОВОЗІВ

3.1 Встановлення параметрів випадкових величин про обіг зерновозів на маршруті Торопилівка – Чорноморська

На першому етапі в роботі було визначено час знаходження зерновозів під навантаженням на станції Торопилівка. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.1), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 27,90$ год, $(\mu_t = 3,32$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 5,71$ год ($\sigma_t = 0,24$ год). Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2 = 4,09$ ($\chi^2_{\max} = 9,50$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.1.

Таблиця 3.1 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості навантаження зерновозів на станції Торопилівка

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	13	18	15,5	18	0,012	0,18	2,77	20,14
2	18	23	20,5	288	0,184	3,78	77,44	278,4
3	23	28	25,5	562	0,360	9,17	233,81	555,6
4	28	33	30,5	410	0,262	8,00	244,02	415,2
5	33	38	35,5	204	0,131	4,63	164,49	210,02
6	38	43	40,5	69	0,044	1,79	72,41	64,66
7	43	48	45,5	12	0,008	0,35	15,89	18,98
Разом				1563	1	27,90	810,8194	1563

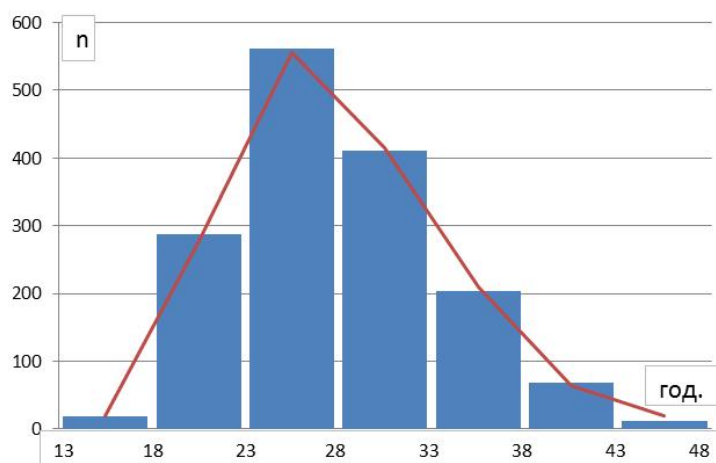


Рисунок 3.1 – Розподілення тривалості завантаження зерновозів на станції Торопилівка

Далі була відібрана інформація про тривалість вивантаження вагонів-зерновозів на станції Чорноморська для визначення середньої тривалості перебування зерновозів на станції вивантаження. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.2), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 35,86$ год, $(\mu_t = 3,58 \text{ год})$, середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 9,23$ год $(\sigma_t = 0,31 \text{ год})$. Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 5,97$ ($\chi^2_{\max} = 9,50$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.2.

Таблиця 3.2 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості вивантаження зерновозів на станції Чорноморська (ТІС)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, ГОД	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	13	22	17,5	47	0,030	0,53	9,21	42,15
2	22	31	26,5	458	0,293	7,77	205,78	448,2
3	31	40	35,5	596	0,381	13,54	480,56	598,15
4	40	49	44,5	341	0,218	9,71	432,03	348,17
5	49	58	53,5	96	0,061	3,29	175,80	98,2
6	58	67	62,5	18	0,012	0,72	44,99	20,5
7	67	76	71,5	7	0,004	0,32	22,90	7,16
Разом				1563	1	35,86	1371,256	1563

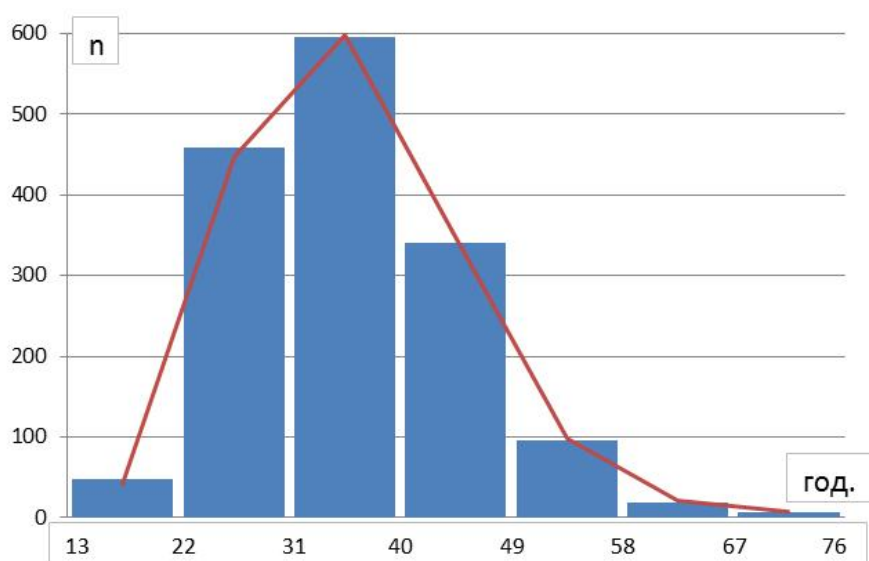


Рисунок 3.2 – Розподілення тривалості вивантаження зерновозів на станції Чорноморська (ТІС)

На третьому етапі було визначено час руху завантажених зерновозів від станції Торопилівка до станції Чорноморська. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.3), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 82,39$ год, ($\mu_t = 4,41$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 21,4$ год ($\sigma_t = 0,27$ год). Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 4,38$ ($\chi^2_{\max} = 14,10$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.3.

Таблиця 3.3 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості руху завантажених зерновозів

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	33	48	40,5	27	0,017	0,70	28,33	24,82
2	48	63	55,5	236	0,151	8,38	465,09	242,17
3	63	78	70,5	467	0,299	21,06	1485,03	472,36
4	78	93	85,5	427	0,273	23,36	1997,11	425,64
5	93	108	100,5	225	0,144	14,47	1453,97	220,18
6	108	123	115,5	102	0,065	7,54	870,57	98,07
7	123	138	130,5	58	0,037	4,84	631,96	53,47
8	138	153	145,5	14	0,009	1,30	189,62	18,22
9	153	168	160,5	5	0,003	0,51	82,41	5,9
10	168	183	175,5	2	0,001	0,22	39,41	2,21
Разом				1563	1	82,39	7243,513	1563

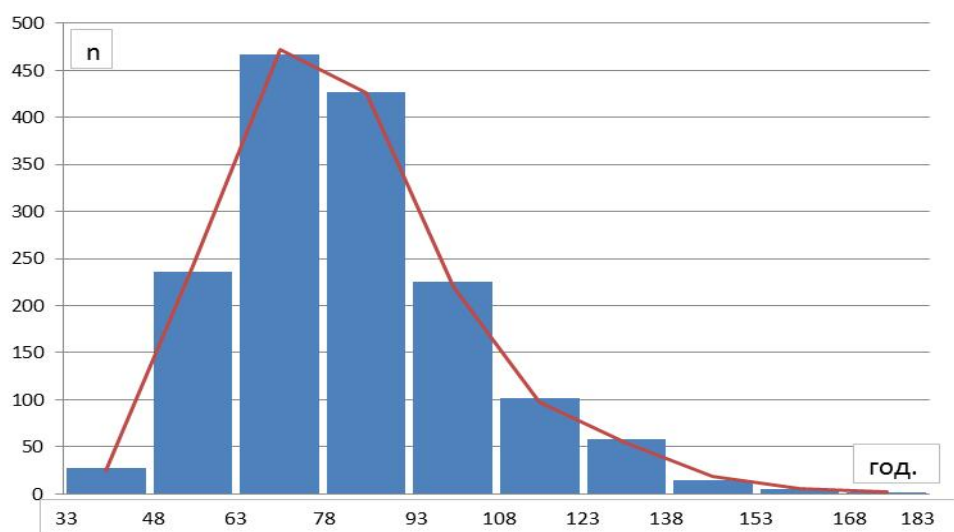


Рисунок 3.3 – Розподілення тривалості руху завантажених зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (ТІС)

На четвертому етапі було визначено час проходження порожніх зерновозів від станції Чорноморська до станції Торопилівка. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.4), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 65,82$ год, ($\mu_t = 4,18$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 18,84$ год ($\sigma_t = 0,27$ год). Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 2,98$ ($\chi^2_{\max} = 11,10$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.4.

Таблиця 3.4 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості руху порожніх зерновозів

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	33	48	40,5	243	0,155	6,30	255,01	234,64
2	48	63	55,5	543	0,347	19,28	1070,11	547,12
3	63	78	70,5	436	0,279	19,67	1386,45	428,86
4	78	93	85,5	201	0,129	11,00	940,09	208,14
5	93	108	100,5	96	0,061	6,17	620,36	97,52
6	108	123	115,5	33	0,021	2,44	281,66	33,11
7	123	138	130,5	6	0,004	0,50	65,38	10,07
8	138	153	145,5	5	0,003	0,47	67,72	3,68
Разом				1563	1	65,82	4686,776	1563

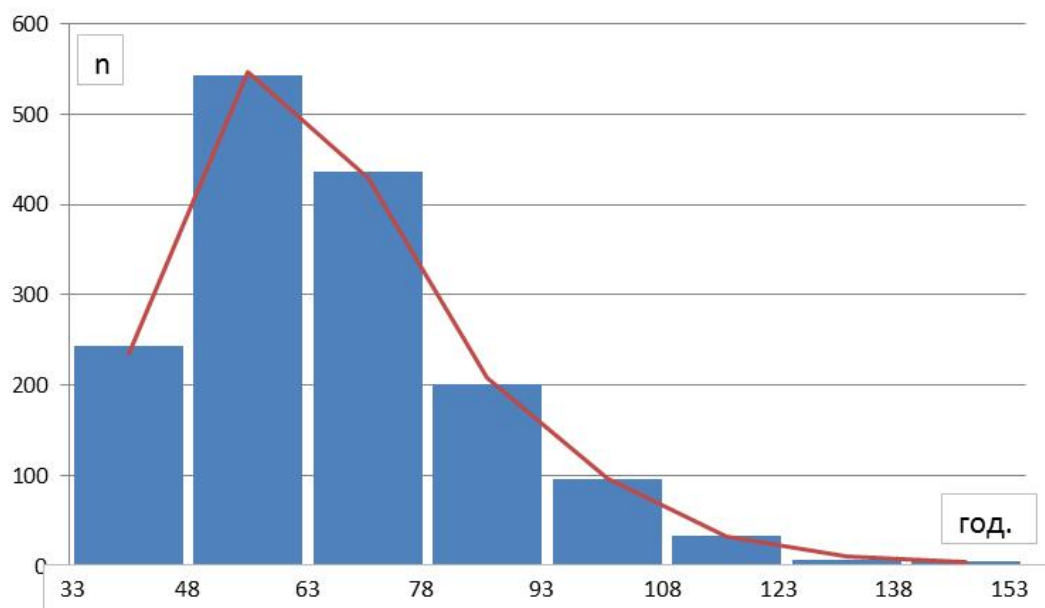


Рисунок 3.4 – Розподілення тривалості руху порожніх зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (ТІС)

3.2 Оцінка адекватності імітаційної моделі

На основі серії імітаційних експериментів була отримана вибірка ($n=1000$) значень про тривалість знаходження зерновозів під навантаженням на станції Торопилівка. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.5), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 28,70$ год, ($\mu_t = 3,36$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 4,34$ год ($\sigma_t = 0,18$ год). Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 5,06$ ($\chi^2_{\max} = 7,80$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.5.

Таблиця 3.5 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості навантаження зерновозів на станції Торопилівка (результати моделювання)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	15	20	17,5	5	0,005	0,09	1,53	9,95
2	20	25	22,5	180	0,180	4,05	91,13	189,61
3	25	30	27,5	466	0,466	12,82	352,41	444,9
4	30	35	32,5	277	0,277	9,00	292,58	274,39
5	35	40	37,5	63	0,063	2,36	88,59	70,23
6	40	45	42,5	9	0,009	0,38	16,26	10,92
Разом				1000	1	28,70	842,5	1000

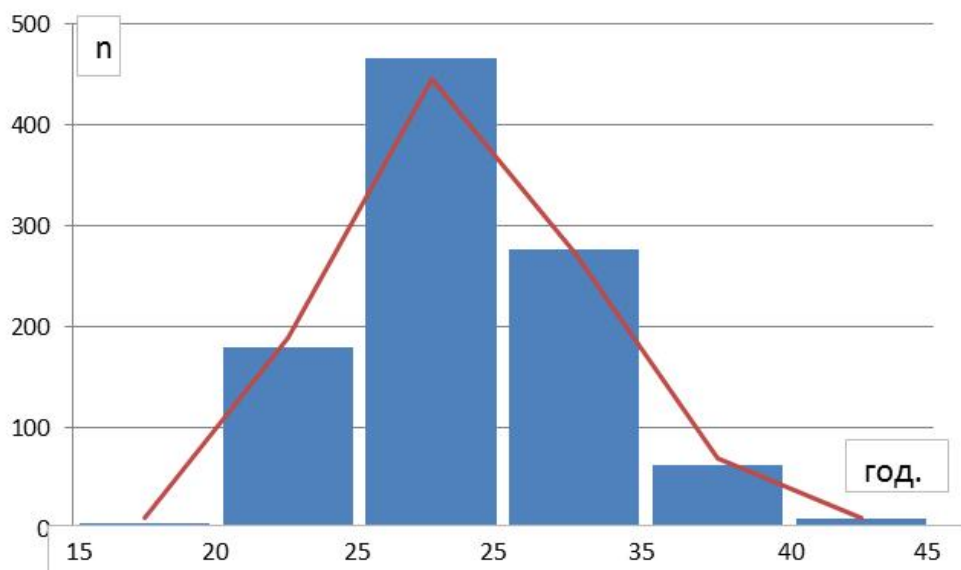


Рисунок 3.5 – Розподілення тривалості завантаження зерновозів на станції Торопилівка (результати моделювання)

Далі була за результатами імітаційного моделювання була оброблена вибірка значень про тривалість вивантаження вагонів-зерновозів на станції Чорноморська. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.6), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 38,67$ год, ($\mu_t = 3,65$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 10,79$ год ($\sigma_t = 0,33$ год). Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 2,82$ ($\chi^2_{\max} = 9,50$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.6.

Таблиця 3.6 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості вивантаження зерновозів на станції Чорноморська (результати моделювання)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	15	25	20	66	0,066	1,32	26,40	72,81
2	25	35	30	334	0,334	10,02	300,60	337,49
3	35	45	40	363	0,363	14,52	580,80	344,91
4	45	55	50	165	0,165	8,25	412,50	167,64
5	55	65	60	54	0,054	3,24	194,40	56,35
6	65	75	70	12	0,012	0,84	58,80	15,74
7	75	85	80	6	0,006	0,48	38,40	5,06
Разом				1000	1	38,67	1611,9	1000

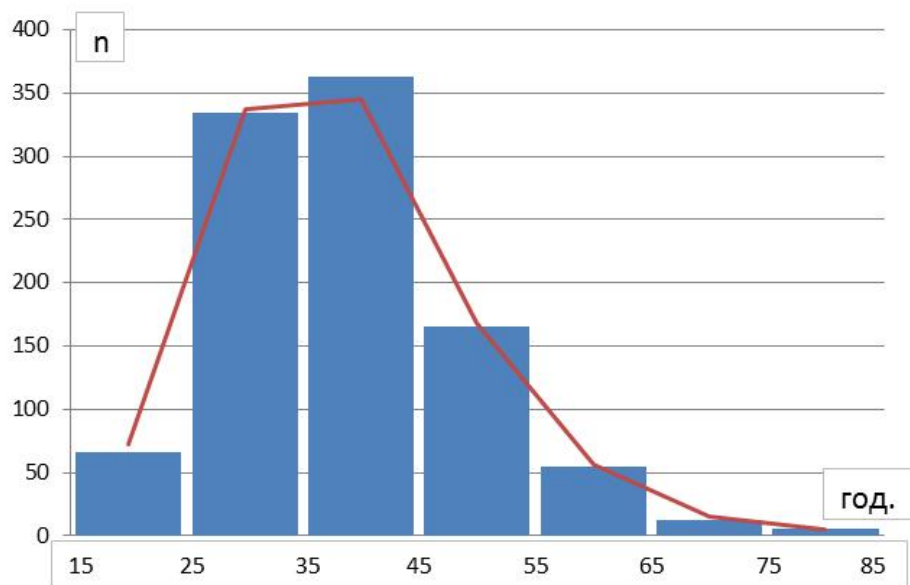


Рисунок 3.6 – Розподілення тривалості вивантаження зерновозів на станції Чорноморська (результати моделювання)

На третьому етапі за результатами моделювання було визначено час руху завантажених зерновозів від станції Торопилівка до станції Чорноморська. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.7), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 83,52$ год, $(\mu_t = 4,42$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 25,04$ год ($\sigma_t = 0,28$ год). Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 2,36$ ($\chi^2_{\max} = 11,10$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.3.

Таблиця 3.7 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості руху завантажених зерновозів (результати моделювання)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	30	50	40	52	0,052	2,08	83,20	54,55
2	50	70	60	261	0,261	15,66	939,60	269,97
3	70	90	80	348	0,348	27,84	2227,20	331,59
4	90	110	100	203	0,203	20,30	2030,00	205,26
5	110	130	120	90	0,090	10,80	1296,00	89,91
6	130	150	140	32	0,032	4,48	627,20	32,91
7	150	170	160	8	0,008	1,28	204,80	10,97
8	170	190	180	6	0,006	1,08	194,40	4,84
Разом				1000	1	83,52	7602,4	1000

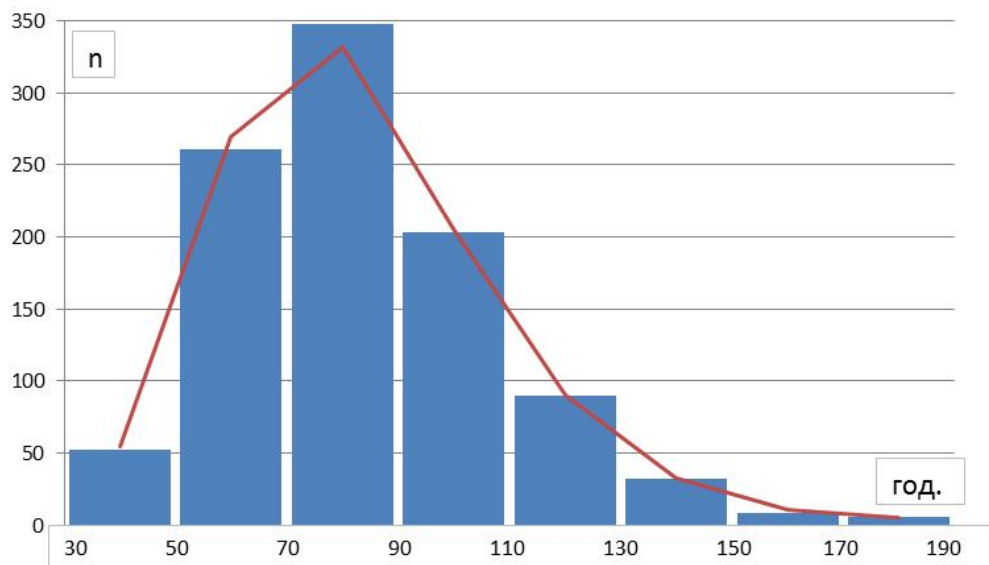


Рисунок 3.7 – Розподілення тривалості руху завантажених зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (результати моделювання)

На четвертому етапі за результатами моделювання було визначено тривалість руху порожніх зерновозів від станції Чорноморська до станції Торопилівка. В результаті виконаних розрахунків встановлено (табл. 3.8), що вказана випадкова величина має логарифмічно-нормальний закон розподілу з параметрами: математичне сподівання $M[T] = 59,40$ год, ($\mu_t = 4,08$ год), середнє квадратичне відхилення – $S[T] = 13,46$ год ($\sigma_t = 0,23$ год). Значення критерію Пірсона при цьому складає $\chi^2_t = 3,58$ ($\chi^2_{\max} = 9,50$). Гістограма статистичного та графік теоретичного розподілення наведені на рис. 3.8.

Таблиця 3.8 – Статистичний ряд розподілення випадкової величини тривалості руху порожніх зерновозів (результати моделювання)

№ розр.	Границі розряду		$t_{\text{сеп}}$, год	$n_i^{\text{стат}}$, ваг.	$P(t)$	$t_{\text{сеп}} \cdot P(t)$	$t_{\text{сеп}}^2 \cdot P(t)$	$n_i^{\text{теор}}$, ваг
1	28	40	34	47	0,047	1,60	54,33	48,85
2	40	52	46	254	0,254	11,68	537,46	265,68
3	52	64	58	371	0,371	21,52	1248,04	357,48
4	64	76	70	228	0,228	15,96	1117,20	215,7
5	76	88	82	71	0,071	5,82	477,40	81,7
6	88	100	94	21	0,021	1,97	185,56	23,5
7	100	112	106	8	0,008	0,85	89,89	7,09
Разом				1000	1	59,40	3709,888	1000

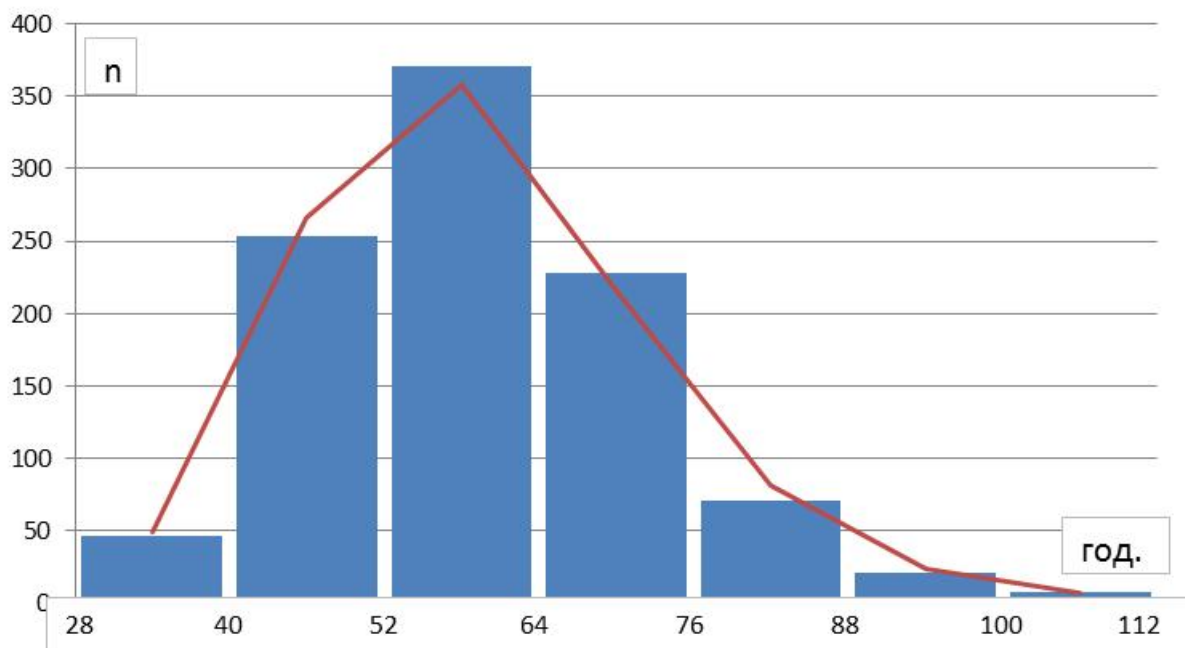


Рисунок 3.8 – Розподілення тривалості руху порожніх зерновозів по маршруту Торопилівка – Чорноморська (результати моделювання)