

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ШАПАТІНА ОЛЬГА ОЛЕКСАНДРІВНА

УДК 656.073.235:004

ДИСЕРТАЦІЯ

ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ

05.22.01 – транспортні системи

27 – Транспорт

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



О.О. Шапатіна

Науковий керівник

КОСТЄННІКОВ Олексій Михайлович,
кандидат технічних наук, доцент

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Шапатіна О.О. Формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи» (275 – Транспортні технології). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2020.

Дисертацію присвячено питанню формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями, яка дасть можливість оператору здійснювати оперативне планування перевезення, з урахуванням можливих затримок у пунктах зміни виду транспорту та на лініях в динаміці, в залежності від моменту часу прибуття вантажу до даного пункту маршруту, а також визначати оптимальний маршрут не лише за критерієм витрат, але й за критерієм тривалості перевезення.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання формування автоматизованої технології управління інтермодальними контейнерними перевезеннями на основі розроблення процедури вибору оптимального плану мультимодального перевезення, спрямованої на максимальне задоволення вимог вантажовідправників за рахунок одночасного врахування при визначенні маршруту таких параметрів перевезення, як вартість транспортування і термін доставки вантажу.

Вперше:

– формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях у вигляді двокритеріальної математичної моделі оптимізації з цільовими функціями та системою обмежень, що відповідає компромісному рішенням щодо терміну та вартості доставки і дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи як вихідні дані топологію транспортної мережі, яку

представлено графовою структурою великої розмірності, і всю необхідну додаткову інформацію;

– для побудови оптимального плану інтермодальних перевезень було розроблено метод виділення єдиного рішення на множині Парето, який дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій (англ. Weighted Stress Function Method, WSFM);

– сформовано АРМ інтермодального оператора, що взаємодіє з різними транспортними системами, до якого інтегровано комплекс розроблених математичних моделей.

Удосконалено:

– процедуру визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення за рахунок прогнозування обсягів перевезення з використанням нейро-нечіткого моделювання на основі моделі ANFIS (англ. Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System).

Практичні результати роботи впливають з її прикладної спрямованості, принципової можливості технічної реалізації запропонованих методів і засобів і полягають у такому: розроблено технологію автоматизованого управління інтермодальними перевезеннями, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо вибору оптимального маршруту з мінімальними експлуатаційними витратами або мінімальним терміном доставки.

За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 28 наукових праць, з яких 8 наукових статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України, і 1 стаття – у виданнях інших держав (дві з них включені до бази Scopus); 15 праць апробаційного характеру; 4 додаткові праці, з них 2 патенти.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету і задачі, об'єкт і предмет дослідження, відображено зв'язок роботи з науковими темами та програмами, розкрито наукову новизну та практичну цінність дисертаційної роботи, подано її загальну характеристику.

Перший розділ присвячено аналізу основних показників роботи вітчизняної транспортної системи, а також технологій управління

інтермодальними перевезеннями в Україні та за кордоном.

За даними АТ «Укрзалізниця» за останні роки обсяг вантажів поступово набуває тенденції зростання, відмічається зростання імпорتنих та експортних перевезень, а також транзитних і внутрішніх перевезень. Так, протягом 2018-2019 років вантажообіг залізничного транспорту становив 55,9 % вантажообігу всіх видів транспорту, а обсяг перевезених залізничним транспортом вантажів становив 52 % загального обсягу вантажів у 2018 році, 48 % – у 2019 році.

Крім того, за даними експертних оцінок, очікується збільшення обсягів комбінованих (інтермодальних) перевезень, що обумовлює необхідність здійснення науково-технічних розробок у галузі нової техніки та технології для інтермодальних перевезень. У країнах Західної Європи, США і Канаді інтермодальні перевезення складають 15–20 % загального обсягу перевезень залізничного транспорту. Збільшення обсягів таких перевезень у Європі складає у середньому 20 % на рік.

Інтермодальні перевезення дають змогу збільшити швидкість доставки вантажів, забезпечити збереження цілісності вантажу, здійснити підвищення якості послуг, при цьому контейнерні перевезення дозволяють здійснювати перевезення різними видами транспорту, скорочуючи час на технологічні операції. За чотири місяці 2019 року територією України перевезено понад 125 тис. контейнерів в умовних одиницях (ДФЕ). Це на 8 % перевищує показник відповідного періоду 2018 року.

Більшість досліджень зводиться до мінімізації експлуатаційних витрат при інтермодальних перевезеннях, але в сучасних умовах значна кількість вантажовласників вимагає від перевізника в першу чергу прискорення доставки і не обов'язково з мінімізацією експлуатаційних витрат. Це свідчить про необхідність вирішення наукового завдання удосконалення технології інтермодальних перевезень за двома критеріями (експлуатаційні витрати і термін доставки), які різні за своєю природою.

У другому розділі сформовано модель прогнозування обсягів перевезення вантажів на основі штучних нейронних мереж. Перевагами такого способу

прогнозування є здатність до самонавчання та адаптації до змінних вхідних даних.

У зв'язку з тим, що інтермодальні перевезення вантажів мають інерційний характер і дуже багато варіантів доставки вантажів, це може викликати перевантаженість одного або декількох видів транспорту. Тому було вирішено розробити прогнозну модель, яка адекватно спрогнозує обсяги перевезень вантажів для визначення завантаженості транспортної інфраструктури.

Перевірка на адекватність запропонованої нейронної мережі для прогнозування обсягів перевезення вантажів проведена за допомогою використання коефіцієнта розбіжності прогнозу. Похибка прогнозу не перевищує 4,86 %. Це свідчить про високу точність прогнозування. Враховуючи, що інтермодальні перевезення вантажів є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень. Це у свою чергу дасть змогу за необхідності коригувати маршрут доставки. Результати моделювання доцільно буде врахувати при розробленні оптимізаційної математичної моделі управління інтермодальними перевезеннями вантажів.

З цією метою у третьому розділі формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення вимог вантажовідправників у вигляді двокритеріальної математичної моделі планування інтермодальних контейнерних перевезень при одночасному врахуванні не лише довжини сегментів при визначенні маршруту, що відповідають різним видам транспорту, а й фактора часу. Математична модель визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення представлена у вигляді двох цільових функції та системи обмежень.

Це дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи як вихідні дані топологію транспортної мережі, яку представлено графовою структурою великої розмірності, і всю необхідну

додаткову інформацію.

Розроблений метод виділення єдиного рішення на множині Парето дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій при виборі оптимального плану інтермодальних перевезень.

Визначений підхід щодо вибору оптимального плану інтермодальних перевезень є основою формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями.

У четвертому розділі на основі комплексу розроблених математичних моделей створено систему підтримки прийняття рішень для взаємодії із різними транспортними системами, які задіяні під час інтермодальних перевезень, та запропоновано інтегрувати її до АРМ інтермодального оператора для забезпечення узгодженої роботи усього процесу транспортування.

Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів в середньому на 8% за умови її застосування на складних транспортних мережах та до 50% скорочення тривалості перевезення у порівнянні із традиційною технологією планування. Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком на певному маршруті надало можливість отримати 4521488 грн. на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні

Ключові слова: інтермодальні перевезення, транспортна мережа, технологія транспортних перевезень, генетичний алгоритм, метод зваженої стрес-функції, автоматизоване робоче місце оператора.

ABSTRACT

Shapatina O. O. Formation of automated technology of intermodal transportation management. – Qualification scientific work – manuscript copyright.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences in Specialty (Ph.D. – Doctor of Philosophy) in Specialty 05.22.01 – Transport Systems (275 – Transport Technologies). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The thesis deals with the issue of forming a technology for managing intermodal transport. The presented technology will enable the operator carrying out operational planning of transport, taking into account possible delays at the points of transfer between modes and en route in real time, depending on the time of arrival of the freight to a certain point of the route, as well as determining the optimal route not only in terms of the cost criterion but also the criterion of duration of transport.

The scientific novelty of the dissertation work is in solving the research problem of forming a technology for automated management of intermodal container transport based on the development of a procedure for choosing an optimal plan for multimodal transport, which is aimed at maximizing the satisfaction of the requirements of shippers when determining the route by simultaneous taking into account such parameters as cost and time of freight delivery.

For the first time:

- the technological process of intermodal container transport is formalized in the form of a two-criteria mathematical optimization model with an objective functions and a system of restrictions. This presents a compromise solution regarding the delivery time and cost and allows for an adequate reproduction of the process of planning intermodal transport. The initial data used are the topology of the transport network, which is presented in the form of a graphical structure of high dimension, and all the necessary additional information;
- to build an optimal plan for intermodal transport, a method for choosing a single solution in the Pareto set was developed. The presented method allows for taking into account the shipper's priorities by using the Weighted Stress Function Method (WSFM)

- a computer workstation for an intermodal operator is formed. The created workstation ensures interaction with various transport systems to which the complex of developed mathematical models is integrated.

Improvements:

- the procedure for determining the workload of the transport network infrastructure in organizing intermodal transport is improved by forecasting transport load with the help of neuro-fuzzy modeling based on the Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS).

The practical result of the work follows from its applied character, the possibility of technical implementation of the proposed methods and tools and presents the developed technology for automated management of intermodal transport, which allows for making informed decisions on choosing the optimal route with minimum operating costs or minimum delivery time.

Based on the materials of the dissertation, 28 scientific works have been published. Among them there are 8 scientific articles in professional editions approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine and 1 article in foreign journals (two of them are listed in the Scopus database); 15 approbation works; 4 supplementary works, including 2 patents.

The introduction substantiates the relevance of the chosen topic, formulates the purpose and objectives of the research, defines its object and subject, reflects the relationship of the dissertation topic with other science topics and programs, covers the scientific novelty and practical value of the work, presents its general characteristics.

Section 1 deals with the analysis of the main indicators of the domestic transport system as well as technologies for managing intermodal transport both in Ukraine and abroad.

According to JSC “Ukrzaliznytsia”, in recent years, the volume of freight is gradually growing, there observed an increase in import-export transport, as well as transit and domestic transport. For example, during 2018-2019, the freight turnover of rail transport amounted to 55.9 % of the freight turnover of all transport modes. In

2018, the volume of freight transported by rail amounted to 52 % of the total volume of freight, in 2019 – 48 %.

Moreover, according to expert estimation, an increase in the volume of combined (intermodal) transport is expected, which necessitates implementing new scientific and technical developments in the field of equipment and technology for intermodal transport. In Western Europe, the USA and Canada, intermodal transport accounts for 15-20 % of the total volume of rail transport. The increase in the volume of this type of transport in Europe is on average 20 % per year.

Intermodal transport allows for increasing the speed of delivery of goods, ensuring the preservation of freight, improving the quality of services while container transport enables performing freight transport by various modes of transport, reducing the time for technological operations. For four months of 2019, more than 125 thousand containers in TEUs were transported through the territory of Ukraine. This is 8 % more than in the corresponding period of 2018.

Most scientific research come down to minimizing operating costs in conducting intermodal transport, but, under modern conditions, a significant number of freight owners require the carrier to accelerate delivery in the first place and not necessarily minimize operating costs. This indicates the need to solve the scientific problem of improving the technology of intermodal transport in terms of two criteria (operating costs and delivery time) that are different in nature.

In Section 2, a model for forecasting the volume of freight transport is formed on the basis of artificial neural networks. The advantages of this forecasting method are the ability to self-learn and adapt to changing input data.

Due to the fact that intermodal freight transport is of an inertial nature and have many options for freight delivery, this can cause overloading of one or several modes of transport. Therefore, it was decided to develop a forecast model that would adequately predict the volume of freight transport to determine the workload of transport infrastructure.

The verification of the adequacy of the proposed neural network for forecasting the volume of freight transport was carried out using inequality coefficient. The

prediction error does not exceed 4.86 %. This indicates high prediction accuracy. Considering that intermodal freight transport is a rather inertial system, this value is sufficient for making managerial decisions. This in turn will allow, if necessary, to adjust the delivery route. It is reasonable to take the modeling results into account when developing an optimization mathematical model for managing intermodal freight transport.

For this purpose, in Section 3, the technological process of intermodal container transport is formalized, with regard to the maximum satisfaction of the requirements of shippers, in the form of a two-criteria mathematical model for planning intermodal container transport. In determining the route, the presented model takes into account both the length of the segments corresponding to various modes of transport and the time factor. The mathematical model for determining the optimal route for intermodal container transport is presented in the form of an objective functions and a system of restrictions.

This makes it possible to adequately reproduce the planning process of intermodal transport, using as the initial data the transport network topology, represented by a high-dimension graphical structure, and all the necessary additional information.

The developed method for finding a single solution in the Pareto set allows for taking into account the priorities of the shipper by using the Weighted Stress Function Method when choosing the optimal plan for intermodal transport.

The described approach to choosing the optimal plan for intermodal transport is the basis for the formation of a technology for automated management of intermodal transport.

In Section 4, based on a set of developed mathematical models, a decision support system is created for ensuring interaction with various transport systems involved in intermodal transport. It is proposed to integrate the system developed into the computer workstation of the intermodal operator to ensure the coordinated operation of the entire transport process.

The implementation of the technology for automated planning of intermodal transport provides an average of 8 % reduction in the costs for intermodal operators when applied to complex transport networks, and a decrease of up to 50 % in the duration of transport compared to traditional planning technology. The determination of the economic benefits on a cumulative total basis on a certain route made it possible to obtain UAH 4,521,488 in the fifth year of application of the proposed technology for automated planning of intermodal transport. This indicator confirms the economic feasibility of introducing the proposed technology.

Keywords: intermodal transport, transport network, transport technology, genetic algorithm, the method of weighted stress function, automated operator's workplace.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

1. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 134. С. 37–42.

2. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. Вип. 1. С. 41–46.

3. Шапатіна О. О. Визначення сфери ефективності бімодальних перевезень. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 135–141.

4. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Вибір кількості типів технічних залізничних засобів для інтермодальних перевезень. *Збірник наукових праць ДЕГУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2014. Вип. 24. С. 202–207.

5. Шапатіна О. О. Вибір виду перевезень вантажів з використанням положень теорії нечітких множин. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 139–143.

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

6. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Удосконалення процесу комбінованих перевезень вантажів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. Вип. 4/3(70). С. 4–8 (видання індексується в базі *Index Copernicus*).

7. Panchenko S., Lavrukhin O., Shapatina O. Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 1, № 3(85). P. 39–45. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92203 (видання індексується в базі *Scopus*).

8. Бутько Т. В., Костенніков О. М., Прохоров В. М., Шапатіна О. О. Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень на основі векторної оптимізації. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 188. С. 71-85 (видання індексується в базі *Index Copernicus*).

Публікації у виданнях інших держав:

9. Lavrukhin O., Zapara V., Zapara Y., Shapatina O., Bogomazova G. Investigation into the bimodal transportation process by modelling rail module states. *Transport Problems*. 2017. Vol. 12. Issue 2. P. 99–112. DOI: 10.20858/tp.2017.12.2.10 (видання індексується в базі *Scopus*).

Праці апробаційного характеру:

10. Шапатіна О. О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті: тези доповідей VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 11-13 жовтня 2012 р.)*. Київ: ДЕТУТ, 2012. С. 292–293.

11. Шапатіна О. О. Шляхи підвищення конкурентоспроможності комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2013 р.). Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 399–400.

12. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*: тези доповідей 73-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.). Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2013. С. 174–175.

13. Шапатіна О. О. Оцінка ефективності бімодальних перевезень. *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті*: тези доповідей VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 8-11 жовтня 2013 р.). Київ: ДЕТУТ, 2013. С. 340–341.

14. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Перевезення вантажів комбінованим транспортом. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2014 р.). Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 305–306.

15. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Ефективність комбінованих перевезень вантажів у міжнародних транспортних коридорах. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики*: тези доповідей X міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 5-7 червня 2014 р.). Вісник економіки транспорту і промисловості. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 20.

16. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Обґрунтування вибору кількості типів технічних засобів для інтермодальних перевезень. *Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития, 2014*: тези доповідей Міжнар.наук.-практ. конф. (Одеса, 1-12 жовтня 2014 р.). Сборник научных трудов SWorld. Одеса: Одеський нац. морський ун-т, 2014. Вип. 3 (36). С. 20–21.

17. Шапатіна О. О. Обґрунтування оптимальної кількості варіантів транспортних засобів комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 21-23 квітня 2015 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 151. С. 148.

18. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Світлична А. В. Ефективність впровадження комбінованих перевезень в Україні. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 26-28 квітня 2016 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 130.

19. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О. Обґрунтування ефективності бімодальних перевезень вантажів. *Проблеми розвитку транспорту і логістики*: тези доповідей VII міжнар. наук.-практ. конф. (Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.). Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Одеського національного морського університету. Сєверодонецьк-Одеса: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Одес. нац. морський ун-т, 2017. С. 94–95.

20. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Удосконалення роботи залізничного транспорту при застосуванні комбінованих перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 26-27 жовтня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 4 (додаток). С. 41.

21. Шапатіна О. О. Шляхи покращення комбінованих перевезень вантажів на основі формування комплексного критерію ефективності. *Технології та інфраструктура транспорту*: тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14-16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 244–246.

22. Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Ефективність комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на*

транспорті: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-26 квітня 2018 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 137.

23. Костенніков О. М., Шапатіна О. О. Удосконалення організації інтермодальних контейнерних перевезень на основі інтегрального показника надійності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників конференції (Харків, 24-25 жовтня 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 4 (додаток). С. 61.

24. Костенніков О. М., Шапатіна О. О., Кравець А. Л., Кім К. В. Пропозиції щодо підвищення якості транспортних послуг за рахунок удосконалення технології інтермодальних перевезень. *Інтелектуальні транспортні технології*: тези доповідей I Міжнар. наук.-техн. конф. (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 62–63.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

25. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Обґрунтування вибору виду транспортних перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 1/2 (6). С. 25–29. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.35904.

26. Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Пошук оптимальної кількості варіантів транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 4/2 (9). С. 32–36. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40226.

27. Спосіб перевезення негабаритних і великовагових вантажів на зчепленні універсальних залізничних платформ: пат. 101721 Україна, МПК (2006.01) B61D 3/10, B61D 3/16, B60P 3/40. № а201109498; заявл. 28.07.11; опубл. 25.04.13, Бюл. № 8. 5 с.

28. Спосіб перевезення вантажів залізничним вагоном та його розвантаження на роторному вагоноперекидачі: пат. 119656 Україна, МПК (2017.01) B61F 1/06, B60S 11/00, B65G 67/34, B65G 63/00, B61D 47/00. № а201304011; заявл. 01.04.13, опубл. 10.10.17, Бюл. № 19. 6 с.

ЗМІСТ

Вступ	18
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ДІЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	25
1.1 Аналіз показників роботи контейнерних перевезень	25
1.2 Аналіз організації інтермодальних контейнерних перевезень в Україні та за кордоном	42
1.3 Аналіз наукових досліджень з питань технології організації інтермодальних контейнерних перевезень	51
1.4 Аналіз автоматизованих засобів управління контейнерних перевезень	56
1.5 Висновки до розділу 1	66
РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	68
2.1 Визначення вхідних даних моделі прогнозування	68
2.2 Аналіз методів прогнозування обсягів перевезення вантажів	76
2.3 Прогнозування обсягів перевезення при виборі транспортної технології на основі фрактального аналізу	88
2.4 Розроблення моделі прогнозування обсягів перевезення вантажів на основі ANFIS-системи	105
2.5 Перевірка розробленої моделі прогнозування на адекватність	114
2.6 Висновки до розділу 2	115
РОЗДІЛ 3. ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	117
3.1 Формалізація технологічного процесу просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях	117
3.2 Розроблення математичної моделі визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення	127

3.3	Моделювання технологічного процесу просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях	139
3.4	Висновки до розділу 3	147
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ІНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ		149
4.1	Загальні вимоги до побудови автоматизованого робочого місця	149
4.2	Розроблення структури та процедури функціонування системи побудови оптимального плану інтермодальних перевезень	150
4.3	Розроблення інтерфейсу для програмної реалізації АРМ інтермодального оператора	155
4.4	Визначення економічної доцільності запропонованої технології	158
4.5	Висновки до розділу 4	163
ВИСНОВКИ		164
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		166
Додаток А Реалізація програми пошуку оптимального маршруту інтермодальних контейнерних перевезень на основі векторної оптимізації мовою Matlab		180
Додаток Б Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації		193
Додаток В Акти впровадження		200

ВСТУП

Актуальність теми. Контейнерні перевезення є основним компонентом інтермодальних перевезень в умовах міжнародної торгівлі. Інтермодальні перевезення здійснюються з залученням двох або більше видів транспорту. Їхня специфіка полягає також і в тому, що вантаж на всьому шляху знаходиться у складі однієї і тієї самої транспортної одиниці, наприклад контейнера, а перевезення здійснюється за єдиним транспортним документом і під контролем єдиного оператора. За таких умов вантажовідправник не повинен укладати окремих договорів із транспортними підприємствами та особисто контролювати всі ланки перевезення, наприклад складні процеси перевантаження контейнерів, узгодження розкладів тощо. Така зручність є важливим фактором, який забезпечує даному виду перевезень постійний приплив нових клієнтів, особливо зважаючи на те, що оператори також здійснюють контроль митних операцій при перетині міждержавних кордонів.

У сучасних умовах дуже часто у вантажовідправників або вантажоодержувачів виникає необхідність у скороченні термінів доставки вантажів, не обов'язково з мінімальними витратами, – це пов'язано з пришвидшенням реалізації товарів і збільшенням їхнього прибутку. Тому є необхідність у виборі маршруту інтермодального перевезення не тільки за критерієм вартості доставки, але і за часом.

На жаль, на сьогодні немає єдиної технології, яка б в автоматизованому режимі виконувала планування інтермодальних перевезень з урахуванням усіх вимог і критеріїв вантажовідправника, тому тема дисертаційного дослідження є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р), згідно з «Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки», введеною

в дію наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259, Стратегією розвитку ПАТ «Укрзалізниця» 2017–2021 роки, а також науково-дослідними роботами за темами, у яких автор брала безпосередню участь як виконавець: «Формування та шляхи реалізації організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів у міжнародних перевезеннях» (ДР № 0115 U 000275), «Розробка методики випробувань по визначенню викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами дизеля модернізованого маневрового тепловоза ЧМЕЗ потужністю 970 кВт, участь у випробуванні та обробка їх результатів» (ДР № РК 0115 U 002087), «Інструкція з ветеринарно-санітарної обробки вагонів після перевезення тварин, продуктів та сировини тваринного походження» (ДР № 0118 U 000125).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є формування автоматизованої технології управління інтермодальними контейнерними перевезеннями на основі розроблення процедури вибору оптимального плану мультимодального перевезення, спрямованої на максимальне задоволення вимог вантажовідправників за рахунок одночасного врахування при визначенні маршруту таких параметрів перевезення, як вартість транспортування і термін доставки вантажу. Поставлена мета визначила такі задачі дослідження:

- провести аналіз основних показників роботи світової транспортної системи, а також технологій управління інтермодальними перевезеннями в Україні та за кордоном для формулювання вимог щодо формалізації технології організації мультимодальних перевезень;
- сформулювати модель прогнозування обсягів перевезення вантажів для визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення;
- формалізувати технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення основних вимог вантажовідправників при визначенні маршруту для планування інтермодальних контейнерних перевезень;
- розробити метод для побудови оптимального плану інтермодальних

перевезень;

– розробити автоматизоване робоче місце (АРМ) оперативного персоналу, що взаємодіє з різними транспортними системами для автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями;

– визначити економічну доцільність від впровадження автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень.

Об'єкт дослідження – процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях.

Предмет дослідження – технологія управління інтермодальними перевезеннями.

Методи дослідження. Проведені дослідження ґрунтуються на використанні методів математичної статистики для виконання детального аналізу основних експлуатаційних показників роботи транспортної системи; методу штучних нейронних мереж для реалізації задачі прогнозування обсягів перевезення вантажів; методів теорії графів при побудові абстрактної транспортної мережі, яка містить ділянки шляху, що відповідають чотирьом типам сполучення: автомобільному, залізничному, морському та авіаційному; спеціального евристичного оптимізаційного алгоритму NSGA-III та методу зважених стрес-функцій для вирішення оптимізаційних математичних моделей організації планування інтермодальних перевезень з урахуванням вартості транспортування і терміну доставки вантажу.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання формування автоматизованої технології управління інтермодальними контейнерними перевезеннями на основі розроблення процедури вибору оптимального плану мультимодального перевезення, спрямованої на максимальне задоволення вимог вантажовідправників за рахунок одночасного врахування при визначенні маршруту таких параметрів перевезення, як вартість транспортування і термін доставки вантажу.

Вперше:

– формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях у вигляді двокритеріальної математичної моделі оптимізації з цільовими функціями та системою обмежень, що відповідає компромісному рішенню щодо терміну та вартості доставки і дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи як вихідні дані топологію транспортної мережі, яку представлено графовою структурою великої розмірності, і всю необхідну додаткову інформацію;

– для побудови оптимального плану інтермодальних перевезень було розроблено метод виділення єдиного рішення на множині Парето, який дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій (англ. Weighted Stress Function Method, WSFM);

– сформовано АРМ інтермодального оператора, що взаємодіє з різними транспортними системами, до якого інтегровано комплекс розроблених математичних моделей.

Удосконалено:

– процедуру визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення за рахунок прогнозування обсягів перевезення з використанням нейро-нечіткого моделювання на основі моделі ANFIS (англ. Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System).

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи впливають з її прикладної спрямованості, принципової можливості технічної реалізації запропонованих методів і засобів і полягають у такому: розроблено технологію автоматизованого управління інтермодальними перевезеннями, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо вибору оптимального маршруту з мінімальними експлуатаційними витратами або мінімальним терміном доставки.

Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів у

середньому на 8 % за умови застосування її на складних транспортних мережах та до 50 % скорочення тривалості перевезення порівняно з традиційною технологією планування. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні.

Запропонована технологія на основі оптимізаційної моделі дає можливість в автоматизованому режимі обирати маршрут доставки завдяки її впровадженню до системи підтримки прийняття рішень на автоматизованому робочому місці оператора інтермодального перевезення при взаємодії з іншими інформаційно-керуючими підсистемами транспортних систем, зокрема Єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями української залізниці (АСК ВП УЗ-Є).

Практичне значення результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження у виробничий процес Регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця» та навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту при вивченні дисциплін «Вантажні перевезення», «Транспортно-експедиторська діяльність», наведеними в додатках до дисертаційного дослідження.

Особистий внесок здобувача. Наукові результати роботи отримані автором особисто і проводились в Українському державному університеті залізничного транспорту. У роботах, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає в такому: у роботі [1] проаналізовано перспективи розвитку інтермодальних перевезень на українських залізницях з урахуванням особливостей їх використання за кордоном; у наукових працях [4, 16, 26] обґрунтовано процедуру вибору кількості типів технічних засобів для комбінованих перевезень залежно від відстані та обсягів перевезень; у роботах [6, 9, 18, 19] формалізовано технологію просування залізничних модулів при інтермодальних перевезеннях, при якій знімається проблема «мертвої ваги», у роботі [9] – з урахуванням фрактального аналізу; у наукових працях [7, 20, 22] сформовано комплексний кваліметричний критерій для визначення узагальненого рівня транспортного засобу, враховуючи важливість складових

критерію в кожний конкретний момент часу при прийнятті рішень; у статті [8] розроблено автоматизовану технологію планування інтермодальних перевезень, що одночасно враховує вимоги клієнта щодо вартості перевезення і терміну доставки; у роботах [14, 27, 28] удосконалено інтермодальну технологію доставки вантажів, що забезпечить скорочення експлуатаційних витрат; у наукових працях [15, 25] обґрунтовано застосування комбінованих перевезень з найменшими експлуатаційними витратами в міжнародних транспортних коридорах, що проходять територією України; у роботах [23, 24] запропоновано використання інтегрального показника надійності, який у свою чергу має включати мінімальні експлуатаційні витрати на перевезення та «доставку точно в строк», що дозволяє визначити оптимальну транспортно-технологічну схему доставки вантажів у контейнерах.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та висновки дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

– VII, VIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (Київ, 11-13 жовтня 2012 р., 8-11 жовтня 2013 р.);

– 75-й, 76-й, 77-й, 78-й, 80-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 15-17 квітня 2013 р., 15-17 квітня 2014 р., 21-23 квітня 2015 р., 26-28 квітня 2016 р., 24-26 квітня 2018 р.);

– 73-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.);

– X Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики» (Харків, 5-7 червня 2014 р.);

– Международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития, 2014» (Одесса, 1-12 октября 2014 г.);

– VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.);

– 30-й, 32-й міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 26-27 жовтня 2017 р., 24-25 жовтня 2019 р.);

– Міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 14-16 травня 2018 р.);

– I Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.).

У повному обсязі результати дисертаційної роботи заслухано та схвалено на розширеному засіданні кафедри управління вантажною і комерційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 28 наукових праць, з яких 8 наукових статей – у фахових виданнях, затверджених МОН України, і 1 стаття – у виданнях інших держав (дві з них включені до бази Scopus); 15 праць апробаційного характеру; 4 додаткові праці, з них 2 патенти.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

Повний обсяг дисертації складає 203 сторінки, з яких обсяг основного тексту – 146 сторінок, 50 рисунків за текстом, 7 таблиць, з яких 1 таблиця і 1 рисунок на 2 окремих сторінках, список використаних джерел із 128 найменувань і 3 додатків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ДІЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ КОНТЕЙНЕРНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

1.1 Аналіз показників роботи контейнерних перевезень

Залізниці України безпосередньо взаємодіють із залізницями Російської Федерації, Білорусі, Молдови, Польщі, Словаччини, Угорщини й Румунії через 56 пунктів переходу границі й з 18 морськими портами Чорного й Азовського морів. Крім того, перевезення здійснюються через 4 паромні переправи: Чорноморськ–Варна (Болгарія), Чорноморськ–Поті (Грузія)–Батумі, Крим–Кавказ (Росія), Керч (Україна)–Поті (Грузія).

Залізничні колії України, що входять до міжнародних транспортних коридорів, мають достатньо високі технічні характеристики. Більшість ділянок електрифіковані, мають значний потенціал пропускнуої спроможності. При чому заповнення пропускнуої спроможності на окремих ділянках складає не більше 70 % [29].

Через Україну проходять чотири з десяти міжнародних транспортних коридори: № 3, № 5, № 7 (водний) і №9. Крім того, через територію нашої держави пролягають шість коридорів Організації співробітництва залізниць (ОСЗ): № 3, № 4, № 5, № 7, № 8 і № 10. При цьому в 1996 році Україна приєдналася до участі в проєкті міжнародного транспортного коридору Європа-Кавказ-Азія (TRASECA), а також, разом з Польщею, почала реалізацію проєкту МТК Гданськ-Одеса. Усе це у зв'язку із наявністю виходів до моря й розгалуженою транспортною інфраструктурою виводить Україну на перше місце в Європі, третє в Євразії й 6-е у світі по показникам коефіцієнта транзитності [30].

На сьогоднішній день загальна довжина мережі залізничних транспортних коридорів по країні становить 3,2 тис. км, по яких перевозиться близько 80 % усіх транзитних вантажів, що проходять через Україну (без обліку трубопровідного транспорту) [30].

За обсягами перевезених вантажів українські залізниці посідають четверте місце на Євразійському континенті (після Китаю, Росії та Індії) і шосте місце в світі. Інфраструктура коридорів, що проходять по території України, дозволяє забезпечити пропуск існуючих і перспективних вантажопотоків. Основними вантажами, що перевозяться залізницями України є кам'яне вугілля, залізорудна сировина, будівельні вантажі, мінеральні добрива, нафта та нафтопродукти. Важливе місце займають також різноманітні метали, нафтові вантажі, зерно. Ці вантажі становлять близько чверті усіх перевезень [31].

Згідно з даними Державної служби статистики у 2018 р. вантажообіг підприємств транспорту становив 331,7 млрд ткм, або 96,6 % від обсягу 2017 р., тоді як у 1 півріччі 2019 р. – 140,1 млрд ткм, або 103,7 % від обсягу 1 півріччя 2018 р.

Підприємствами транспорту у 2018 р. перевезено 624,1 млн т вантажів, що становить 98,0 % від обсягів 2017 р., тоді як у 1 півріччі 2019 р. – 275,0 млн т вантажів, що становить 109,0 % від обсягів 1 півріччя 2018 р.

У 2018 р. залізничним транспортом перевезено у внутрішньому сполученні та на експорт 267,6 млн т вантажів, що на 3,5 % менше, ніж у 2017 р. Перевезення лісових вантажів знизилося на 14,1 %, будівельних матеріалів – на 12,8 %, нафти і нафтопродуктів – на 9,3 %, зерна та продуктів перемелу – на 7,9 %, цементу – на 4,5 %, хімічних і мінеральних добрив – на 3,9 %, чорних металів – на 3,4 %, кам'яного вугілля – на 2,6 %, коксу – на 2,6 %, брухту чорних металів – 0,9 %. Разом із цим перевезення залізної та марганцевої руди збільшилося на 2,5 %.

У загальних обсягах перевезень вантажів водним транспортом закордонні становили 44,1 %. Порівняно із 2017 р. обсяги закордонних перевезень вантажів зменшилися на 4,9 %.

У 2018 р. порівняно із 2017 р. зменшилися обсяги перекачки вантажів трубопровідним транспортом. Так, перекачка газу скоротилася на 5,4 %, нафти

– на 3,7%. Транзит газу скоротився на 7,2%, нафти – на 4,3%. Разом із цим перекачка та транзит аміаку зросли відповідно на 23,1% та на 16,8% [32].

У 1 півріччі 2019 р. залізничним транспортом перевезено у внутрішньому сполученні та на експорт 109,3 млн т вантажів (на рівні аналогічного періоду попереднього року). Перевезення нафти і нафтопродуктів збільшилося на 3,5%, залізної та марганцевої руди – на 5,7%, хімічних і мінеральних добрив – на 11,9%, зерна та продуктів перемелу – на 21,6%. Разом з цим перевезення лісових вантажів знизилося на 59,9%, будівельних матеріалів – на 25,0%, брухту чорних металів – на 13,9%, коксу – на 10,0%, кам'яного вугілля – на 4,4%, чорних металів – на 2,5%, цементу – на 0,5%.

У загальних обсягах перевезень вантажів водним транспортом закордонні становили 51,1%. Порівняно із 1 півріччям 2018 р. обсяги закордонних перевезень вантажів зменшилися на 1,4%.

У 1 півріччі 2019 р. порівняно із 1 півріччям 2018 р. збільшились обсяги перекачки вантажів трубопровідним транспортом. Так, перекачка аміаку зросла на 15,8%, транспортування газу – на 2,3%. Перекачка нафти зменшилась на 5,7%. Транзит аміаку збільшився на 15,1%, газу – на 7,9%. Транзит нафти зменшився на 7,7% [32].

Одними з основних показників роботи вантажного транспорту є вантажообіг та кількість перевезеного вантажу, що наведено на рисунках 1.1–1.4. На рисунках 1.5–1.13 наведено основні показники роботи Південної залізниці.

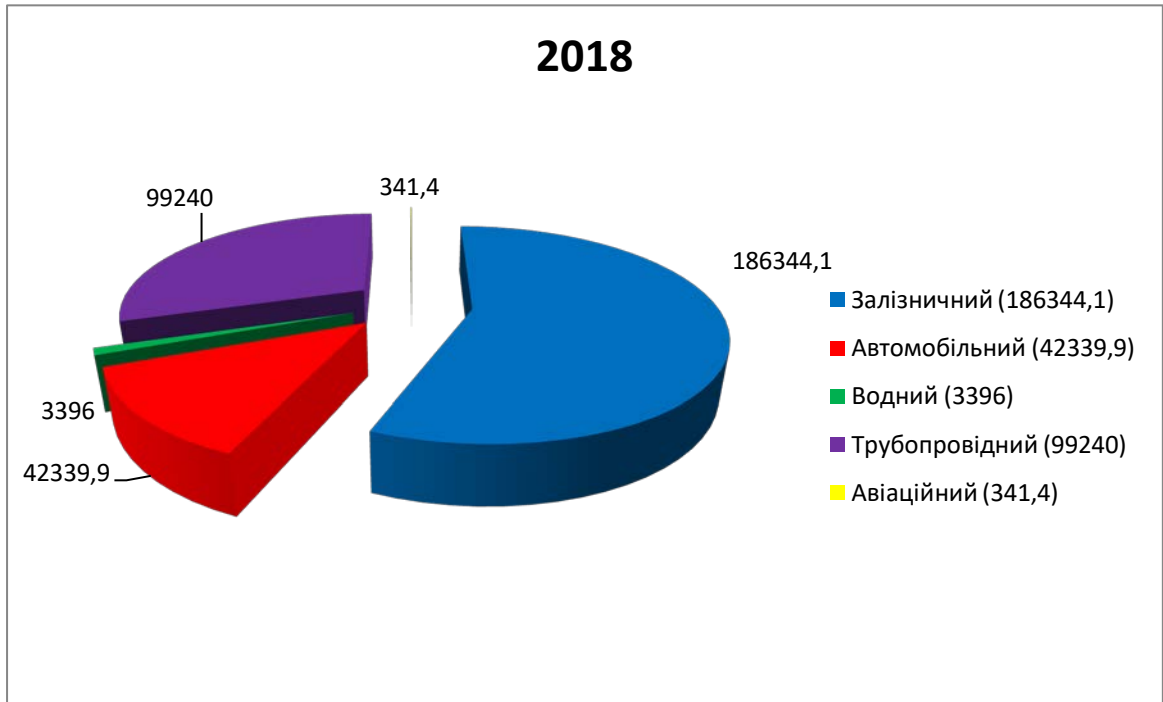


Рисунок 1.1 – Вантажообіг за видами транспорту (млн ткм) у 2018 році

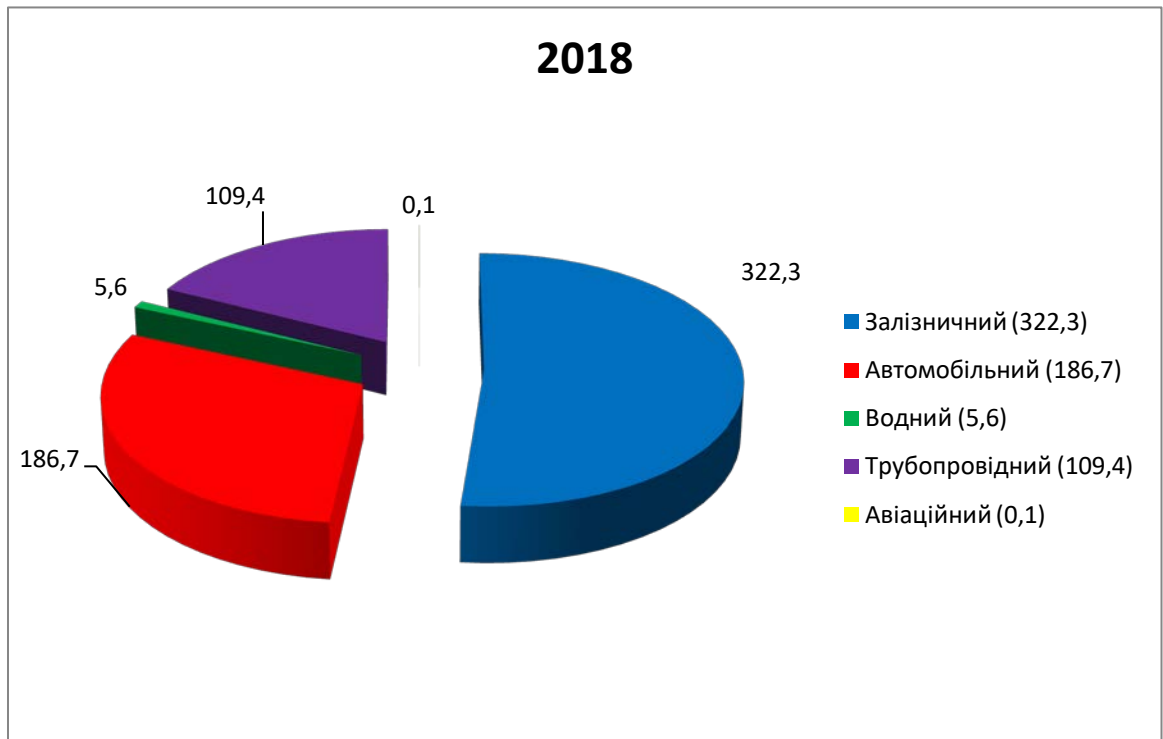


Рисунок 1.2 – Перевезено вантажів різними видами транспорту (млн т) у 2018 році

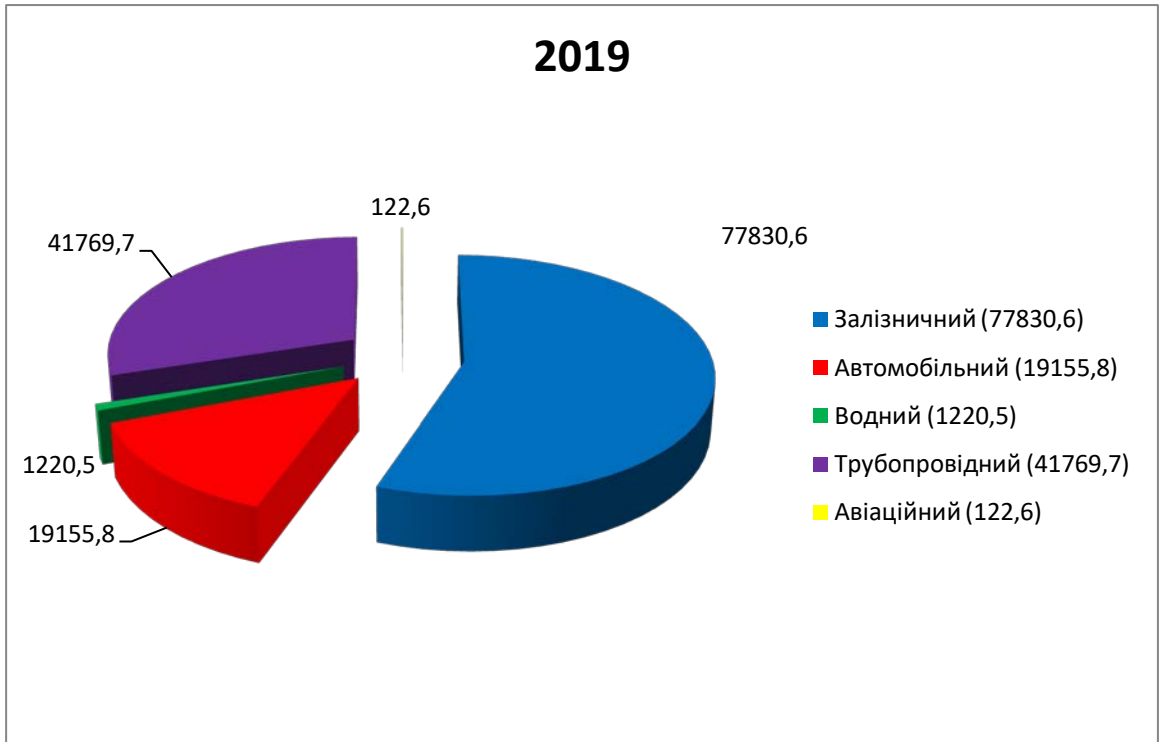


Рисунок 1.3 – Вантажообіг за видами транспорту (млн ткм)
у 1 півріччі 2019 року

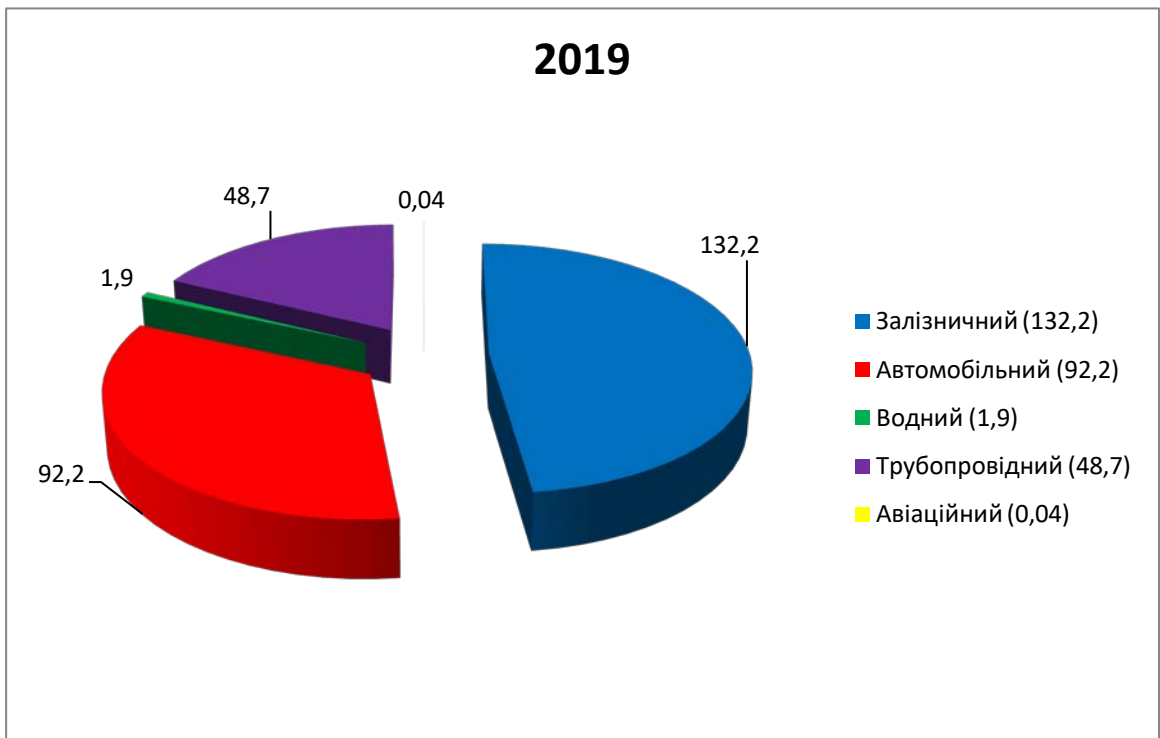


Рисунок 1.4 – Перевезено вантажів різними видами транспорту (млн т)
у 1 півріччі 2019 року

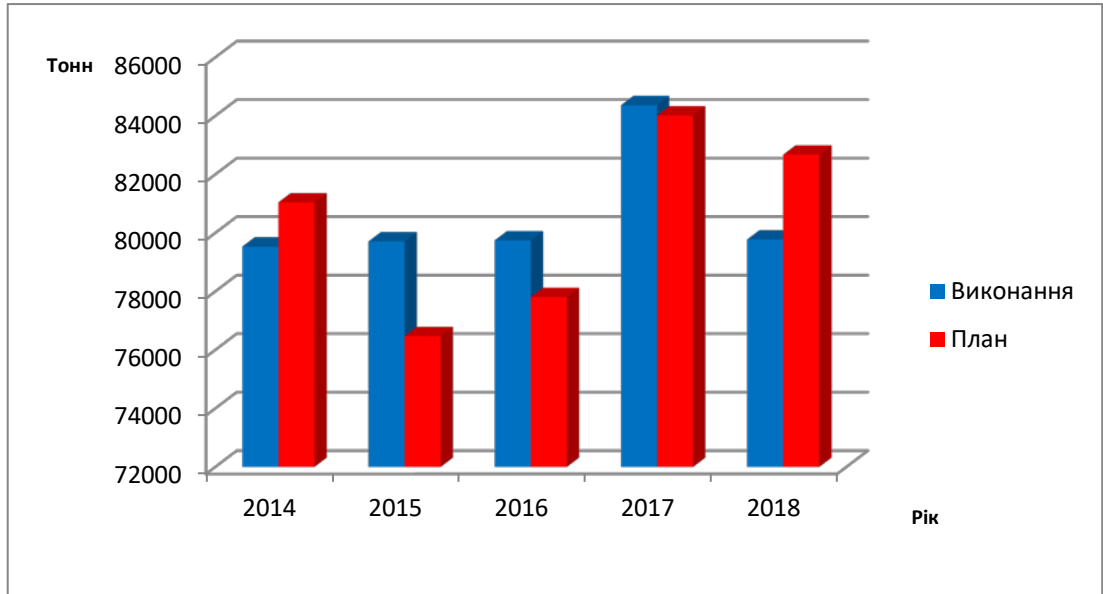


Рисунок 1.5 – Навантажено, тонн

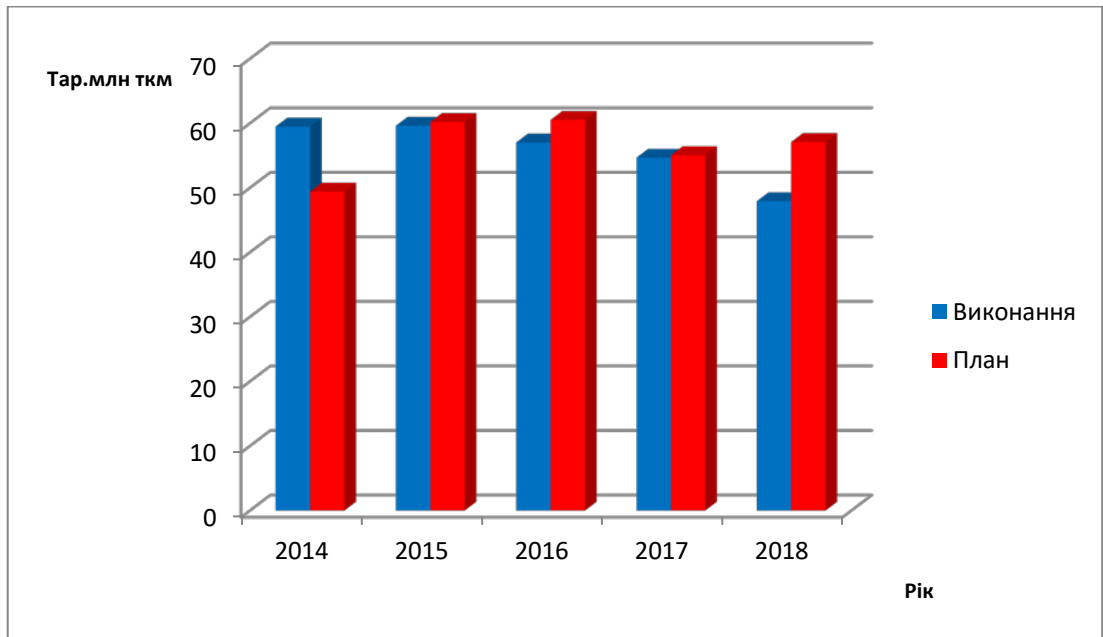


Рисунок 1.6 – Вантажобіг, тар. млн ткм

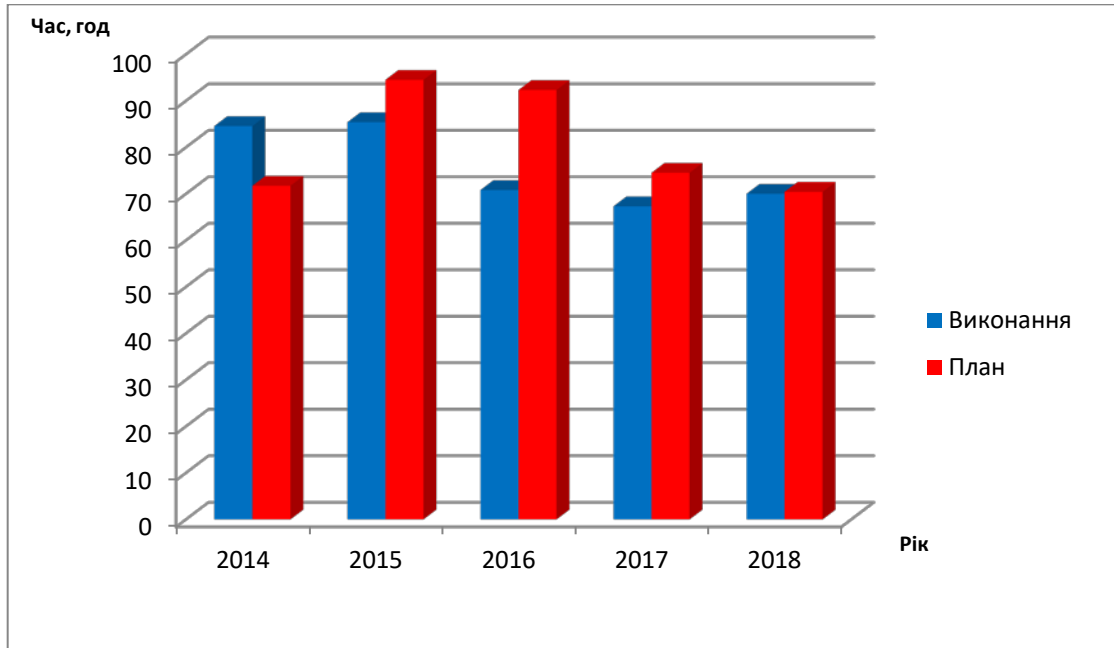


Рисунок 1.7 – Простій під 1 вантажною операцією, год

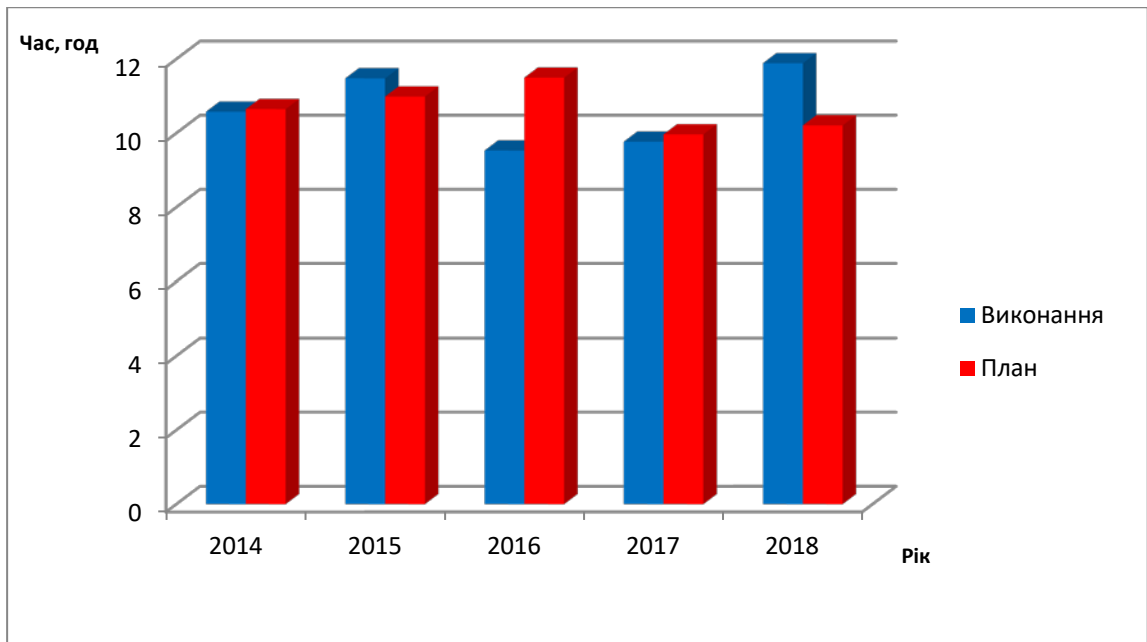


Рисунок 1.8 – Простій на 1 технічній станції, год

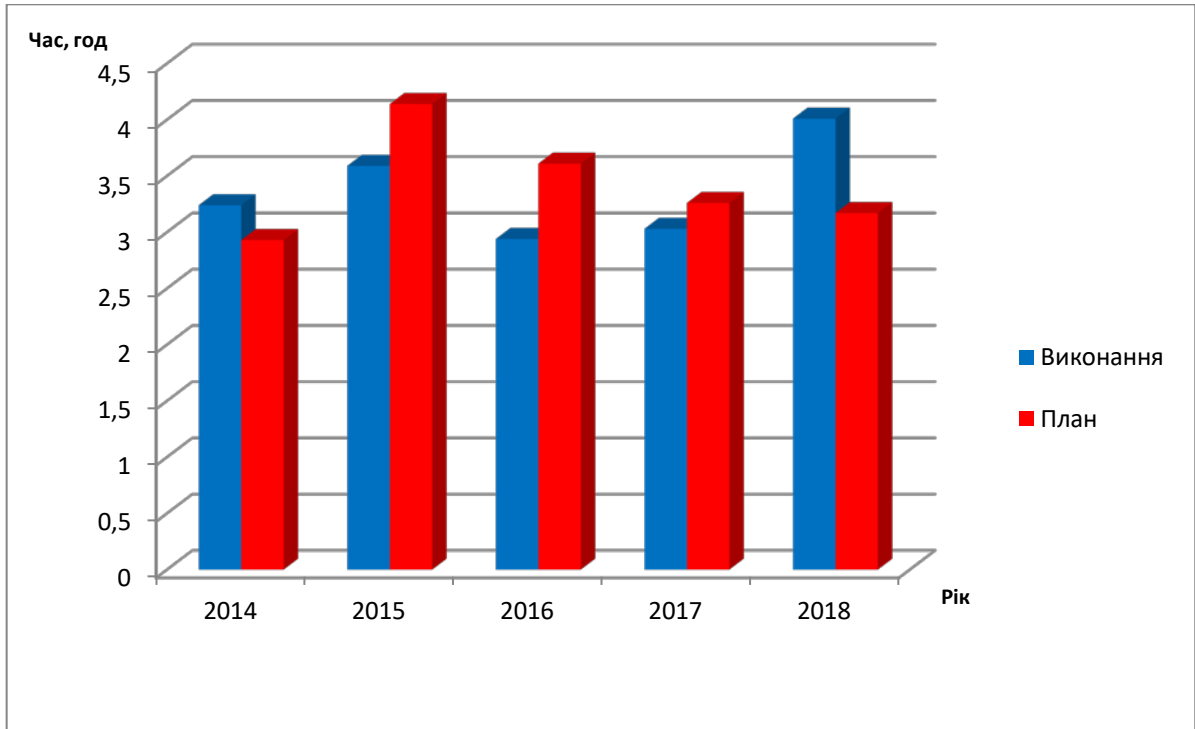


Рисунок 1.9 – Простій без переробки, год

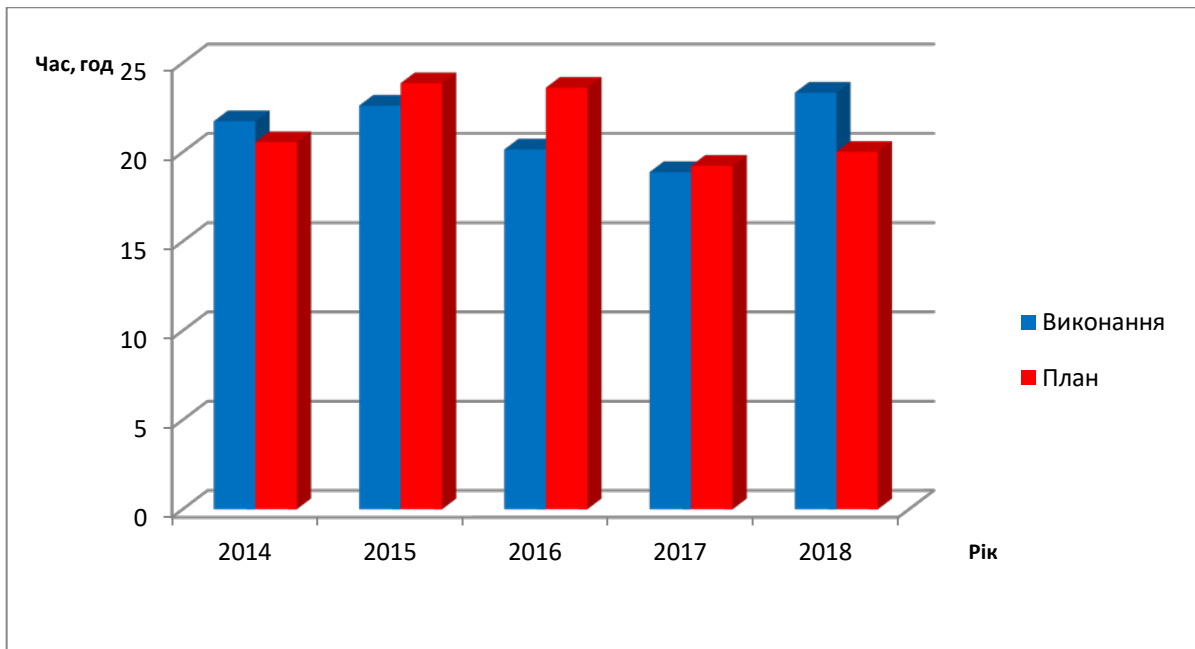


Рисунок 1.10 – Простій з переробкою, год

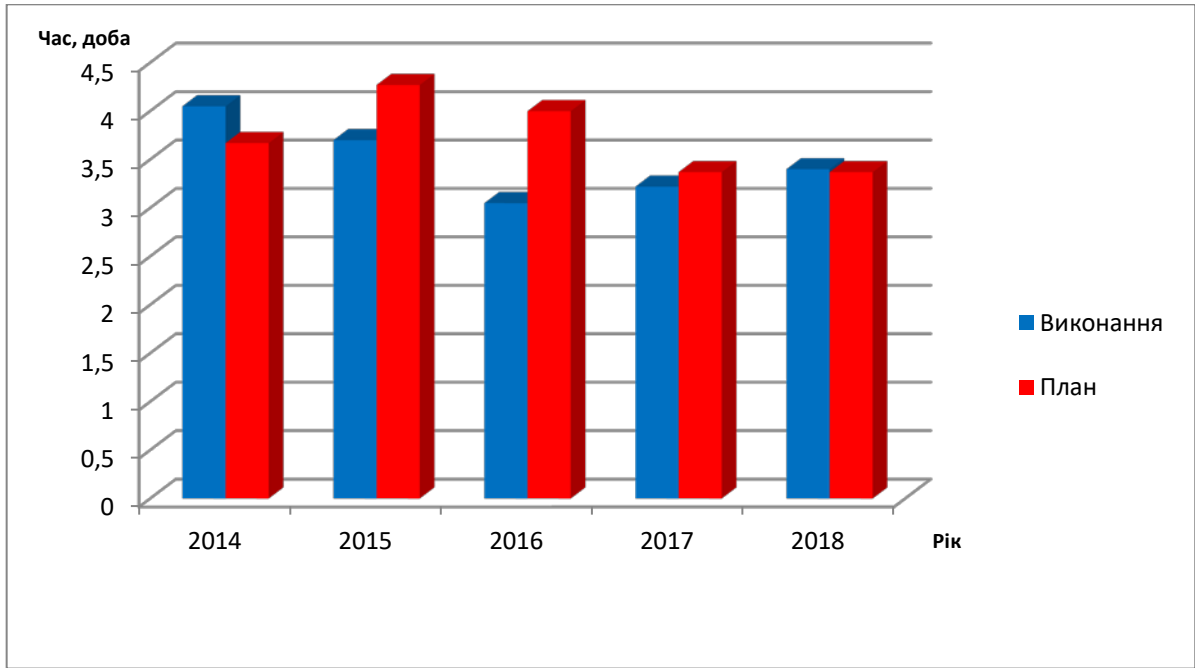


Рисунок 1.11 – Обіг вантажного вагона, доба

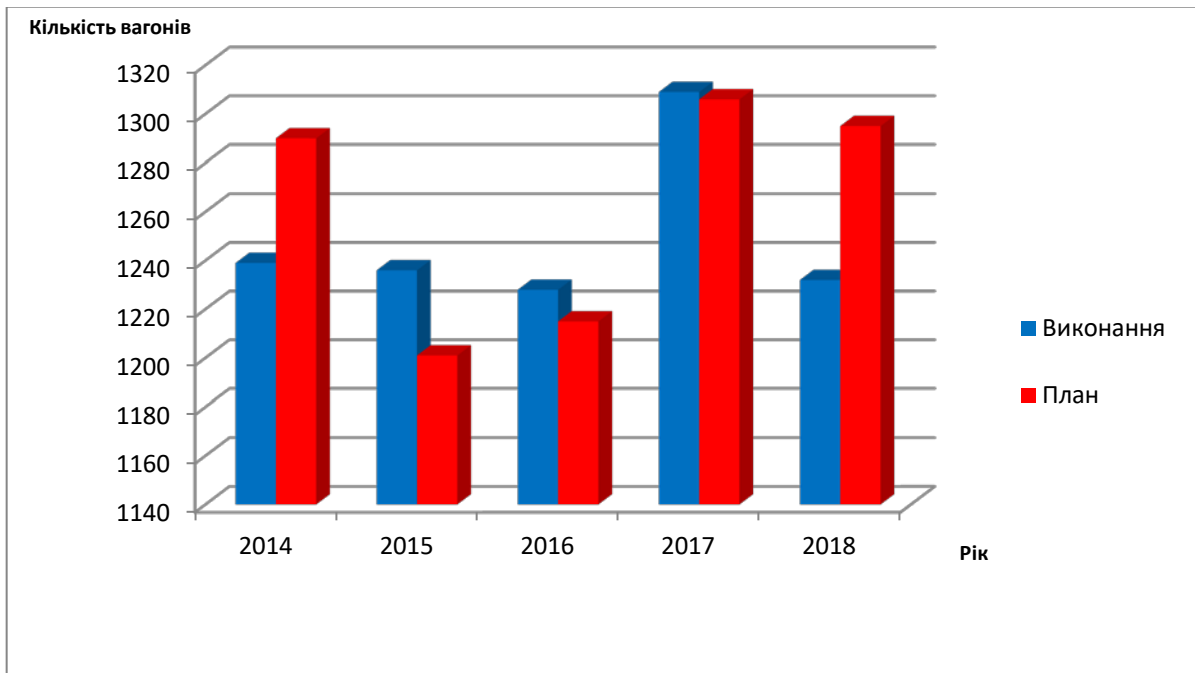


Рисунок 1.12 – Навантажено, вагонів

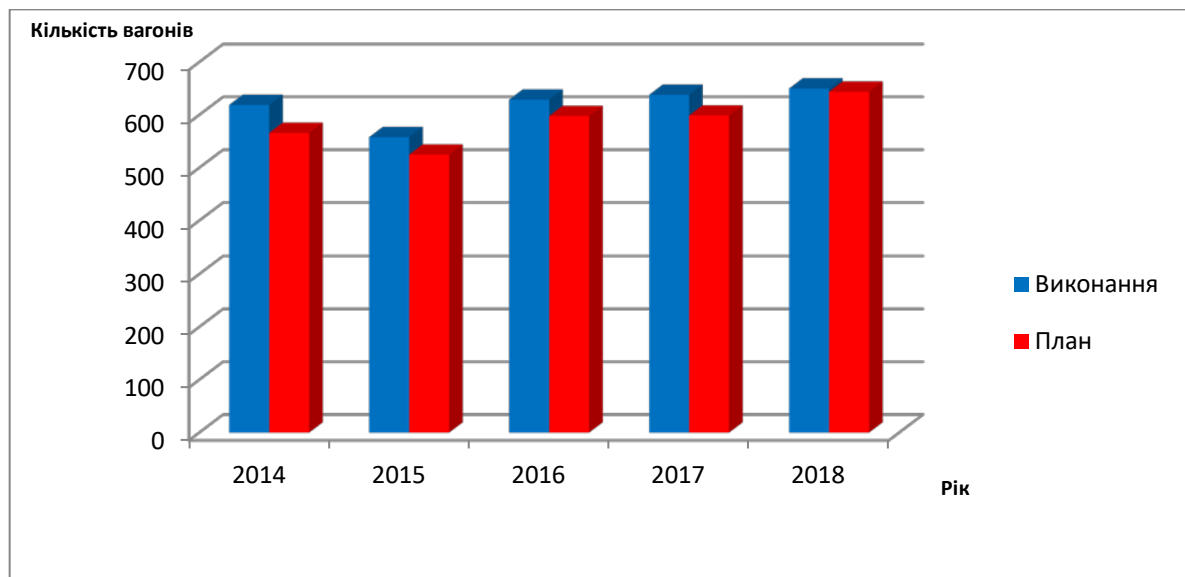


Рисунок 1.13 – Розвантажено, вагонів

Отже, як бачимо з наведеного найбільші обсяги перевезень виконуються залізничним транспортом. Аналіз показників роботи Південної залізниці у 2014–2018 роках показав, що обсяги перевезень залізничним транспортом лишаються досить стабільними, що підтверджує конкурентоспроможність цього виду транспорту. Однак, спрямованість економічного розвитку на ринку транспортних послуг України зумовлює розвиток перевезень вантажів за участю декількох видів транспорту.

Однак, помітним є збіг характеру змін обсягів перевезень двох видів транспорту – залізничного та автомобільного. Не зважаючи на конкуруюче положення, дані види вантажного транспорту можуть доповнювати один одного та формувати цілісний ланцюг при доставці вантажу від місця видобутку або виробництва до місця споживання або продажу. Тим саме реалізуючи одне з основних положень логістики – «від дверей до дверей». Необхідно тільки з'ясувати та чітко позначити, за яку частку ланцюга постачання відповідатиме кожен з видів транспорту, що бере в ньому участь.

Як показує світовий досвід, для збільшення ефективності вантажних перевезень доцільне об'єднання ефективності автомобільного та залізничного видів транспорту, тобто здійснювати інтермодальні перевезення.

Інтермодальні перевезення дають змогу збільшити швидкість доставки вантажів, забезпечити збереження цілісності вантажу, здійснити підвищення якості послуг [23, 24].

Це, в свою чергу, потребує здійснення науково-технічних розробок у галузі нової техніки та технології інтермодальних перевезень, обґрунтування технології контрейлерних, контейнерних та бімодальних маршрутів.

Транспортна система обслуговування вантажопотоків в Україні була сформована ще за радянських часів, більшість вантажів надходять до нашої країни з Російської Федерації, Білорусі та Молдови, тоді як на країни Євросоюзу приходить 1–2 % перевезених вантажів. Економіка країн СНД має обмежені можливості, транспортна система спрямована на перевезення низькорентабельних вантажів, що не потребують інтенсивного впровадження нових технологій, тому зростання обсягів вантажу, що проходить територією України, затримується.

Однак, на ближчу перспективу Україні прийдеться переглядати відношення до взаємодії з цими країнами. І багато в чому це вимагатиме удосконалення інфраструктури всього перевізного господарства, вимагатиме освоєння в широкому обсязі інтермодальних перевезень. Як показує практика, за цим майбутнє і зростання конкурентоспроможності залізниць [1, 2, 11, 33].

Існують наступні види інтермодальних технологій: контейнерні та пакетні перевезення, трейлерні, контрейлерні, бімодальні, поромні переправи, системи «річка-море», ролкерні системи («Ро-Ро»), ліхтеровісної системи, перевезення залізницею з різною шириною колії та ін. [4, 34].

Починаючи з 1995 року, Укрзалізницею поетапно реалізується комплекс заходів по введенню на залізницях України режиму комбінованих перевезень. З метою формування парка спеціалізованих вагонів і для комбінованих перевезень створений Український державний центр з експлуатації

спеціалізованих вагонів, до розвитку комбінованого транспорту підключилась Львівська залізниця, АТ «Крюковський вагонобудівний завод» та АТ «Днепровагонмаш» [29].

Найбільше застосування на сьогоднішній день із всіх видів комбінованих перевезень на залізницях України знайшли контейнерні перевезення.

Система контейнерних перевезень дозволяє залучати до змішаних перевезень морський, річковий, повітряний, залізничний і автомобільний транспорт. Відомо, що тарно-штучні вантажі, які в першу чергу тяжіють до системи контейнерних перевезень в звичайних умовах переробляються як мінімум 6 разів. Якщо врахувати проміжні сортування цих вантажів при слідуванні їх в вагонах зі збірними відправками, а також завезення на бази зберігання та передачі на інші магістральні види транспорту, то кількість вантажних операцій з ними збільшується до 8–12, а в окремих випадках і більше. Незручні для механізованої перевантаження тарно-штучні вантажі переробляються, як правило, вручну, викликаючи витрати живої праці, простої рухомого складу, сповільнюючи доставку продукції.

Контейнерна система перевезень вантажів знімає багато з названих недоліків і дозволяє:

- виключити важку фізичну працю на вантажних операціях;
- значно прискорити виробництво вантажних робіт;
- скоротити простої рухомого складу і час заняття постійних споруд: залізничних колій, портових потужностей на причалах і складах;
- майже повністю виключити втрату і пошкодження вантажів;
- істотно знизити витрати матеріалів і праці на виготовлення тари;
- значно скоротити собівартість перевезень;
- прискорити доставку вантажів в пункти призначення і скоротити обсяг вантажної маси, що знаходиться в процесі транспортування.

Переваги системи контейнерних перевезень перебивають додаткові витрати на створення та утримання парку контейнерів та спеціалізованого рухомого складу, а також на перевезення самих контейнерів особливо в

порожньому стані і утримання обслуговуючого персоналу контейнерної індустрії.

Система контейнерних перевезень заснована на строгій стандартизації та уніфікації технічних засобів, що зумовило її міжнародний характер. В основу стандартизації та уніфікації технічних засобів покладена модульна система, що встановлює взаємопов'язування розмірів контейнерів і рухомого складу.

За 2017 рік територією України залізничним транспортом перевезено 291,9 тис. ДФЕ (двадцятифутовий еквівалент), що на 10% більше від обсягів перевезень контейнерів за 2016 рік і становить 1% від загальних обсягів перевезених вантажів залізничним транспортом.

У 2017 році контейнерообіг в українських портах зріс на 6,4% означає, що за кількістю оброблених контейнерів порти, після дворічного падіння перевалки в 2014-2015 роках, вийшли на рівень 2012 (735 606 TEU). І для того щоб повернутися до показників докризового 2008 року, коли контейнерообіг досяг рекордних 1,254 млн TEU, буде потрібно ще не один рік [35].

Контейнерні вантажі в українських портах переробляються на п'яти контейнерних терміналах: «КТО» і «Бруклін-Київ Порт» – в Одеському порту, «ПІС КТ» – в акваторії порту «Південний» і на терміналі Іллічівського морського рибного порту (нині – Чорноморськ). Контейнерний термінал порту «Чорноморськ», володіючи потужностями 850 тис. TEU, з вересня 2016 припинив переробку контейнерів. У 2017 році там було опрацьовано лише 42 TEU. До 2016 року велася робота на контейнерному терміналі в Маріупольському порту. Але через близькість бойових дій на сході країни, термінал перестав обробляти контейнери.

Сьогодні обробка контейнерів в портах здійснюється тільки приватними стівідорними компаніями. Причому 28,3% всього вантажопотоку контейнерів переробляється приватними стівідорними компаніями на власних причалах.

Більш ніж півмільйона контейнерів, що складає майже 72% українського контейнерообігу обробляється в Одеському порту (519 010 TEU), 18,5% – в

Іллічівському (нині – Чорноморському) рибному (133 983 TEU) і 9,8% – в порту «Південний» (70 696 TEU).

Незмінний лідер за обсягами перевалки серед українських терміналів – «КТО» (дочірнє підприємство німецького холдингу HHLA), що оперує терміналом в Одеському порту з 2001 року. Навесні 2017 року керівництво HHLA оголосило про ребрендинг «ГПК Україна», компанія стала називатися «Контейнерний термінал Одеса» («КТО») – по аналогії з трьома іншими терміналами, якими оперує HHLA в Німеччині: СТА, СТВ, СТВ. На рисунках 1.14-1.15 наведено переробку контейнерів в морських портах України.

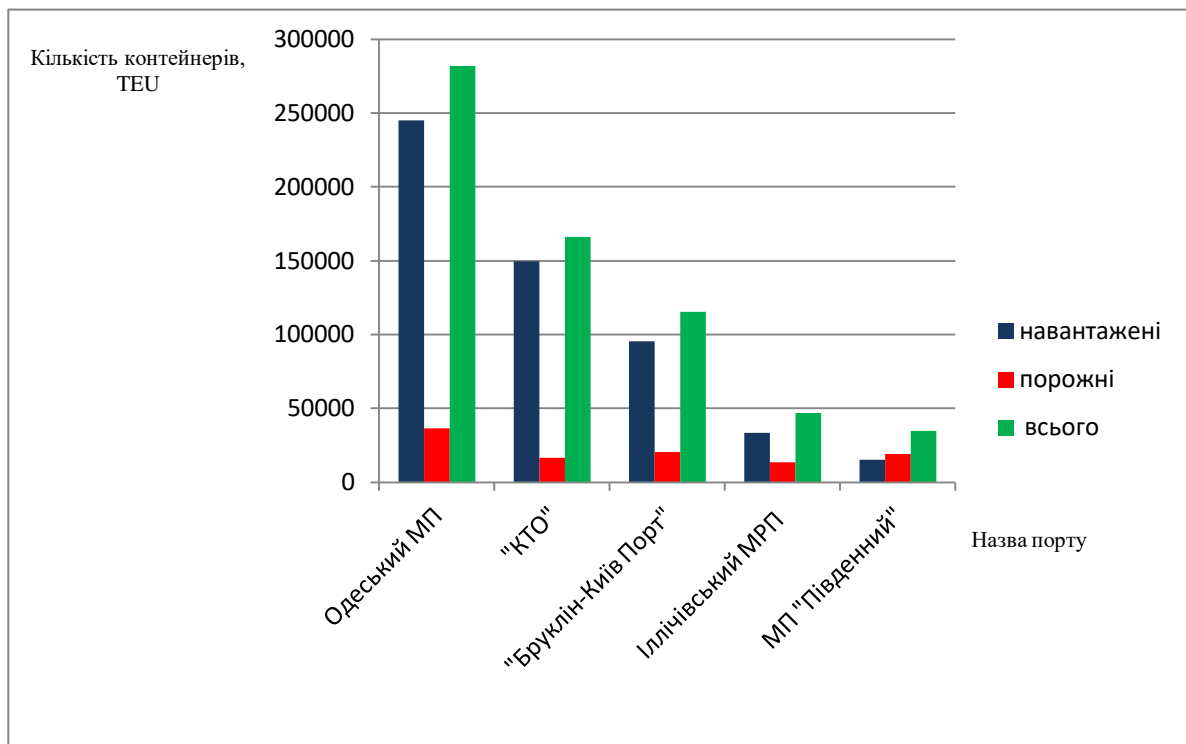


Рисунок 1.14 – Переробка контейнерів в морських портах України у 2017 році (Імпорт)

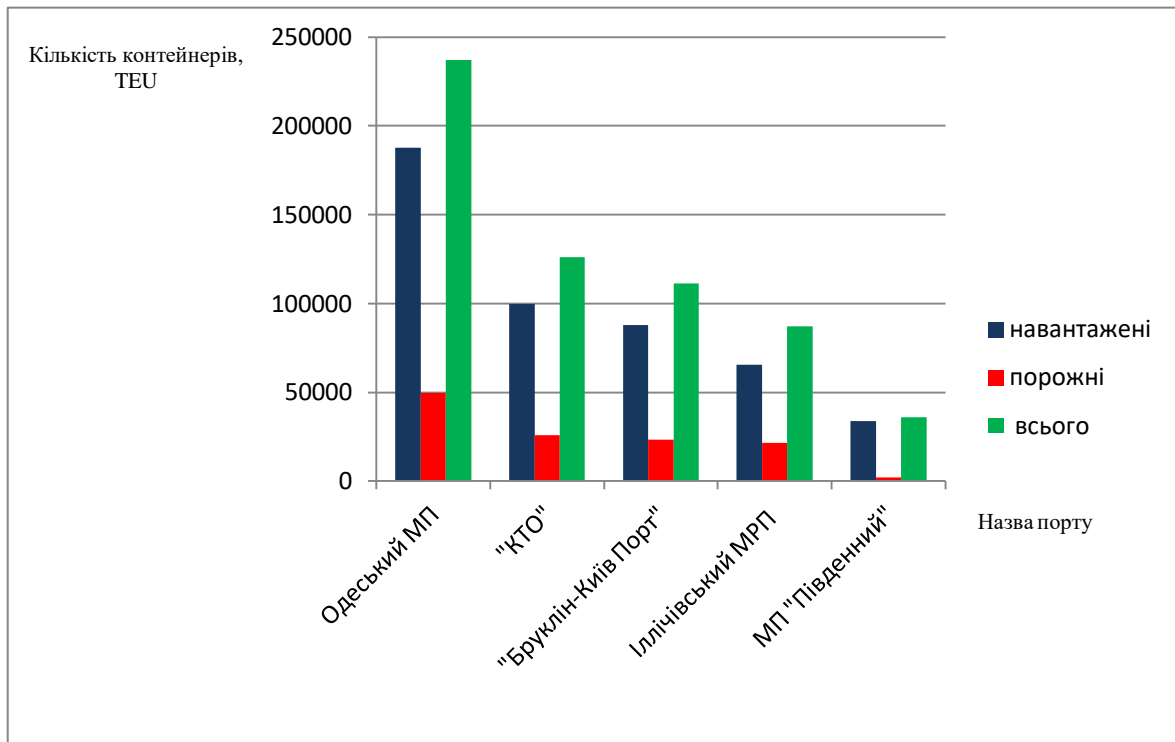


Рисунок 1.15 – Переробка контейнерів в морських портах України у 2017 році (Експорт)

У структурі контейнерних потоків, що проходять через українські порти, продовжує зберігатися баланс між імпортом і експортом. У процентному співвідношенні це виражається так: імпорт – 50,3 %, експорт – 49,7 %.

Але експорт зростає швидше. Всього в 2016 році експорт зріс на 7,5 %, до 360 187 TEU, в той час як імпорт – на 5,3 %, до 363 502 TEU. Як в імпорті, так і в експорті основу складають навантажені контейнери. Але якщо роком раніше превалював експорт навантажених, то в 2017 – імпорт. У 2016 році більше завозили навантажених контейнерів (293 718 TEU), ніж відправляли на експорт (287 061 TEU). Частка навантажених в імпорті зросла до 80,8 %, в експорті скоротилася до 79,7 %.

Зменшився потік порожніх контейнерів. Причому імпорт порожніх скоротився більш ніж на третину, до 69 784 TEU, експорт – майже вдвічі, до 40 780 TEU.

З метою збільшення обсягів перевезень, прискорення доставки і збереження вантажів у контейнерах в 2017 році ПАТ «Укрзалізниця» було організовано 12 контейнерних поїздів, серед них – 5 транзитних.

За 4 місяці 2019 року територією України перевезено понад 125 тис. контейнерів в умовних одиницях (ДФЕ). Це на 8% перевищує показник відповідного періоду 2018 року [36].

На рисунку 1.16 наведено обсяги перевезення контейнерів у складі контейнерних поїздів у 2016, 2017 і 1 півріччя 2018 року.

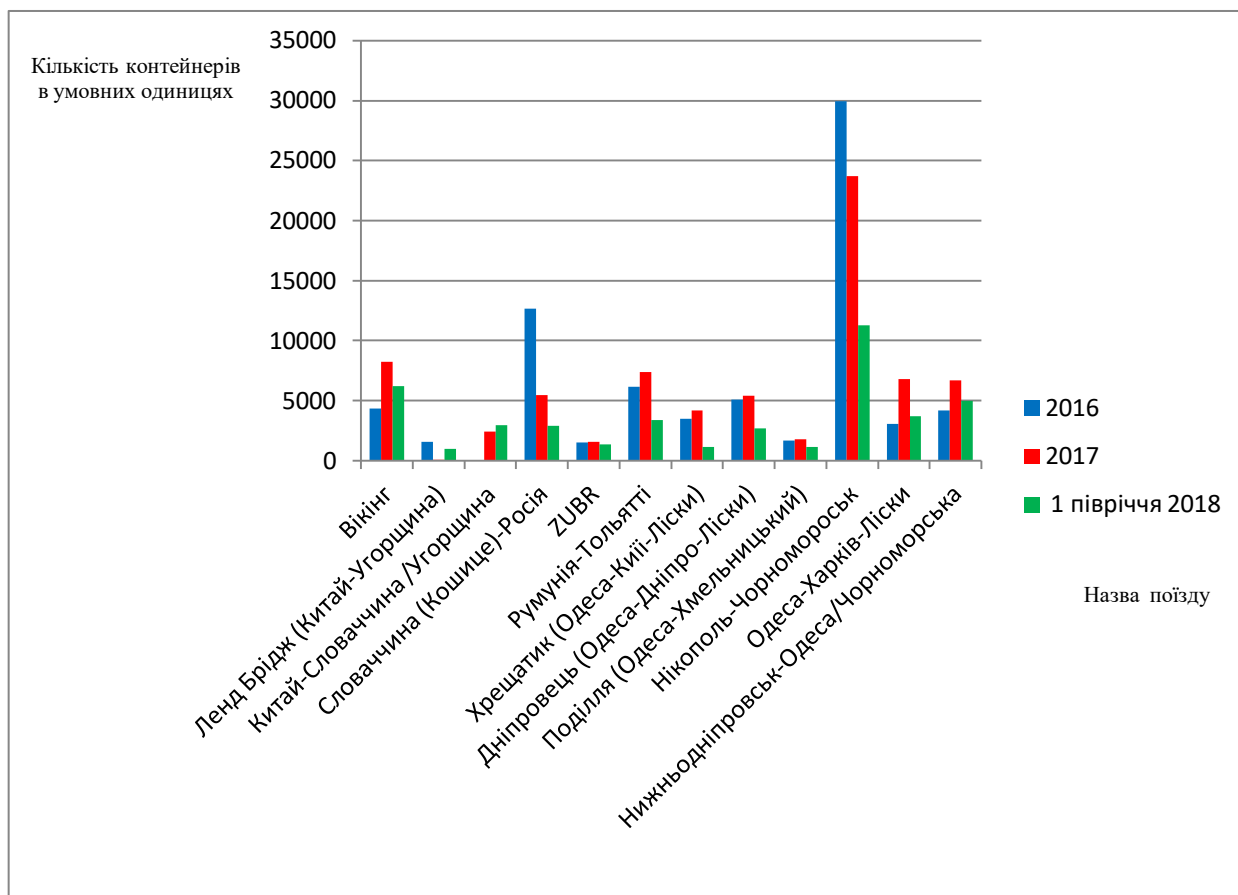


Рисунок 1.16 – Перевезення контейнерів у складі контейнерних поїздів

Застосування контейнерів дозволяє підвищити продуктивність праці в середньому в 4–6 разів, а на морському транспорті – до 30 разів у порівнянні з продуктивністю праці при ручній обробці вантажів, комплексно механізувати і автоматизувати вантажно-розвантажувальні і складські операції, повністю виключити важкі ручні роботи, в 7–10 разів знизити собівартість перевантажувальних робіт, в 1,5–2 рази скоротити витрати на тару і упаковку, підвищити збереження перевезеної продукції, прискорити на 25–30 % доставку вантажів.

Таким чином, основні переваги контейнеризації вантажів зводяться до наступного:

- доставка вантажів від «дверей до дверей» без проміжного перевантаження;
- малий ризик пошкодження вантажів;
- більш швидка доставка вантажів;
- економія робочої сили і складських приміщень.

Недолік контейнерного перевезення полягає в тому, що потрібно повернення власнику його контейнера, дещо скорочується коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортного засобу, а створення високопродуктивного перевантажувального комплексу вимагає великих капітальних вкладень.

Однак, аналіз тенденції світового товарообігу і транспортно-економічних переваг перевезення уніфікованих укрупнених вантажних одиниць в координованому взаємодії різних видів транспорту дає підставу для впевненого прогнозу подальшого розвитку контейнерних перевезень практично на всіх основних напрямках, де є потоки генеральних, рефрижераторних і ряду інших вантажів.

1.2 Аналіз організації інтермодальних контейнерних перевезень в Україні та за кордоном

Залізниці України представляють собою розвинену транспортну систему зі значним перевізним потенціалом. В останні роки у зв'язку з економічними умовами, які склалися у нашій країні, попит на транспортні послуги залізниць різко знизився. Залізничний транспорт був орієнтований на обслуговування великих промислових підприємств, одні з яких зараз практично не випускають продукцію, інші ж істотно знизили обсяги випуску.

У даній ситуації найбільш актуальним рішенням проблеми залучення клієнта є звернення до малих виробництв приватного сектору, однак у цьому випадку залізничний транспорт не витримає конкуренції у порівнянні з іншими видами транспорту, у тому числі, з автомобільним.

На залізничному транспорті для таких змішаних перевезень створені два основні традиційні транспортні засоби: контейнери і автомобільні напівпричепи, що перевозяться на спеціальних платформах.

В кінці 1999 р. світової контейнерний парк склав 13,4 млн TEU (46,5 % – у віданні лізингових компаній). Щодня з вантажем знаходиться 6,8 млн TEU; на перекидання порожніх контейнерів витрачається щорічно 10,7 млрд дол. (морем – 3,0; наземними видами транспорту – 4,0; на терміналах – 3,7). В Європі 74 % контейнерних перевезень здійснюється автомобільним транспортом; 16 % – залізничним; 10 % внутрішнім водним; середні відстані перевезень відповідно 73, 202 і 141 км [37].

Технічну базу системи контейнерних перевезень становлять: парк контейнерів, рухомий склад, що використовується для перевезення контейнерів, перевантажувальні обладнання та постійні споруди, зосереджені в пунктах початкового відправлення, перевантаження і вивантаження контейнерів.

Основний парк в світі (більш 80 %) складають універсальні великотоннажні контейнери ISO.

Зазвичай в змішаних перевезеннях застосовуються 20- і 40-футові універсальні контейнери ISO [2]. Діє Міжнародна конвенція по безпечних контейнерах (КБК), в якій уніфіковані всі види контейнерів і дана регламентація їх технічних параметрів і показників.

Для перевезення контейнерів на всіх видах транспорту застосовується рухомий склад, який дозволяє забезпечувати максимальне завантаження транспортного засобу, скорочення часу простою під вантажними операціями.

Для вантажних операцій в пунктах перевалки контейнерів призначені спеціальні райони – контейнерні термінали. На залізничному транспорті контейнерні термінали являють собою спеціалізовані станції, на морському та річковому – комплекси пристроїв, що включають відкриті майданчики для накопичення під угруповання дрібних відправок контейнерів, сортувальні майданчики, залізничні під'їзні шляхи, автопроїзди, вагові пристрої для виконання перевантажувальних і складських операцій з контейнерами, перевантаження контейнерів з автомобільного засобу на залізничний та навпаки виконується за допомогою кранів.

Для нашої країни це особливо актуально, тому що парк вантажних вагонів за природних причин зменшився, більшість вагонів відпрацювали призначений термін служби, але продовжують експлуатуватися більше ніж 25-30 років. Україна не може достатньо ефективно забезпечити перевезення навіть внутрішніх сполучень. Разом з цим в умовах інтегрування України в європейську транспорту систему вимагається відповідність міжнародним стандартам технічної, технологічної бази, що потребує необхідності у застосуванні сучасних технологій перевезення вантажів.

Сучасні методи перевезення вантажів широко використовуються в країнах з розвинутою мережею залізниць та високим рівнем логістики. В ряді країн в експериментальному чи загальному порядку використовують бімодальний транспорт [1, 3, 38].

Бімодальні перевезення забезпечують перевезення контейнерів або причепів з комбінованою ходовою частиною, що здатні пересуватися як по

автостраді, так і по рейках. Такий бімодуль пересувається в залізничному складі за аналогією з вагонами. Залишивши візки на залізничній станції, він продовжує свій шлях по шосе за тягачем [2, 28].

Бімодальна технологія перевезення використовує дві основні системи: Road Railer та RailRunner. Для системи Road Railer [39] необхідні спеціальні напівпричепи з посиленою рамою, які обладнані пристосуваннями для встановлення їх на залізничні візки. Після встановлення на залізничні ходові частини, напівпричепи автоматично зчіплюються, створюючи поїзд. Задній кінець кожного з них через перехідник-адаптер спирається на залізничний візок, а передній - на задній кінець напівпричепа, який стоїть попереду. У ньому передбачено для цієї мети гніздо (сідлова система). Таким чином, для кожного напівпричепа «RoadRailer» потрібен один вагонний візок.

Бімодальна технологія перевезення контейнерів RailRunner [6, 40, 41] базується на експлуатації спеціальних платформ, що транспортуються, як з використанням автомобільної тяги, так і залізничної колії шляхом встановлення платформи на спеціальні візки.

Конструкція вагонів для перевезення вантажів і розташування обладнання повинні забезпечувати безпеку обслуговуючого персоналу, а також доступ при огляді, технічному обслуговуванні і ремонті.

Навантаження і вивантаження напівпричепів повинно здійснюватися на спеціальних площадках, які обладнані під'їзними коліями з вантажопідйомними пристроями необхідної вантажопідйомності, які забезпечують схоронність напівпричепа і вантажу, що перевозиться.

Технічними умовами передбачені можливості перевезення автопоїздів, що мають наступні характеристики: максимальна довжина – 16500 мм; максимальна ширина – 2500 мм; висота – 4000 мм; максимальна вага тягача – 10 т; максимальна повна вага напівпричепа – 34 т, у тому числі, яка передається: на сідельно-зчепний пристрій – 10,5 т; на візок напівпричепу – 23,5 т. Максимальна вага завантаженого автопоїзда не повинна перебільшувати 44 т.

На Україні ОКБ «Транспортер» [42] розроблена спеціалізована залізнична платформа на серійних вагонних візках, яка забезпечує перевезення тягачів з напівпричепами висотою 4 м з порожнім верхнім ступенем негабаритності (модель 13-9032).

Пристрій кузова вантажного вагона залежить в першу чергу від роду вантажів, для перевезення яких він призначений, а також від методів їх раціонального вантаження і вивантаження. Найбільш загальною характеристикою кузовів всіх типів вагонів є конструктивна схема.

Під конструктивною схемою вагона розуміють форму і розташування кузова на ходових частинах із зазначенням способів виконання вантажно-розвантажувальних операцій і методів забезпечення схоронності перевезених вантажів. Для цього детально описуються механізми і пристрої для механізації і автоматизації навантаження, закріплення і вивантаження вантажів.

Так, схеми вагонів загального призначення, тобто вагонів, призначених для перевезення цілої групи вантажів, зазвичай значно відрізняються від схем спеціалізованих вагонів. Це пояснюється тим, що конструкція, розміри та розташування дверних прорізів, люків і вантажно-розвантажувальних пристроїв спеціалізованих вагонів повинні відповідати розмірам устаткування тих галузей підприємств і фірм, для яких призначений даний тип вагона, а універсальні вагони повинні дозволяти найбільш зручно виконувати вантажно-розвантажувальні роботи в експлуатації і наміченими на перспективу механізмами загального призначення. Деякі особливості в конструктивних схемах виникають і через специфіку кузовів різних типів вагонів.

Огляд зарубіжних вагонів показав, що всі вантажні вагони об'єднуються в два класи: відкриті (платформи, напіввагони) і закриті (криті, ізотермічні, резервуарні). Відкриті вагони дозволяють при їх завантаженні широко використовувати всілякі крани, екскаватори та інші універсальні засоби механізації, а для завантаження закритих вагонів звичайно потрібні спеціалізовані механізми: спеціальні навантажувачі, естакади, конвеєри, трубопроводи.

Аналіз розвитку бімодальних перевезень за кордоном показує, що вони розвивалися великими темпами. Так за кордоном існують бімодальні системи: RoadRailer (США), Trailer-Rail (США), Rail Runner(США), Trailer Train (Великобританія), Combitrans (Франція), Carrobimodale (Італія), Coda-E (Нідерланди), Transtrailer (Іспанія), KombiTrailer (Німеччина), KombiRail (Франція-Німеччина), Tabor Rozpan (Польща) [10, 38, 40].

Досвід створення засобів бімодального транспорту мають практично всі економічно розвинуті країни Європи та Америки. Бімодальна (Bimodal Road Rafter) безвагонна технологія перевезень – це спроба організувати комбіновані залізнично-автомобільні перевезення без залізничних платформ.

Прототипи сучасних транспортних систем типу «RoadRailer», які поєднують елементи автомобільного та залізничного транспорту, були вперше створені в США [43].

Подальшим розвитком бімодальної системи стало розроблення транспортного засобу на комбінованому автомобільно-залізничному ході «RoadRailer» Mark V. Цей напівпричіп-трейлер було обладнано поїзною гальмівною магістраллю. Для руху залізницею такі напівпричепи встановлюються на спеціально обладнані вагонні візки з власним гальмівним устаткуванням. Переустановлення з автомобільного шасі на вагонні візки та навпаки здійснюється за допомогою пневмопідвішування. Зчеплення трейлерів даної системи з локомотивом здійснюється через трейлер-адаптер. Повний склад може включати до 100 подібних транспортних засобів.

Остання модель сімейства напівпричепів «RoadRailer» на автомобільно-залізничному ході Mark VI при меншій масі міцніша за попередні моделі. При розрахунковому поздовжньому навантаженні порядку 2,3 МН напівпричепи Mark VI можна експлуатувати в поїздах з 125 одиниць.

Після встановлення на залізничні ходові частини, напівпричепи автоматично зчіплюються, створюючи поїзд. Задній кінець кожного з них через перехідник-адаптер спирається на залізничний візок, а передній – на задній кінець напівпричепи, який стоїть попереду. У ньому передбачено для цієї мети

гніздо (сідлова система). Таким чином, для кожного напівпричепа «RoadRailer» потрібен один вагонний візок.

Система «RoadRailer» добре підходить для організації змішаних перевезень на далекі відстані і потребує розвиненої мережі терміналів. На випадок, коли такої мережі немає, розроблено спрощену модель «ChassisRailer» [43]. Вона являє собою просту раму для 14,6-метрових контейнерів і призначається для обертання між портами і терміналами, які не оснащені спеціальним устаткуванням для переробки вантажів.

У США є кілька систем, які конкурують із системою «RoadRailer». Фірма Stick Corporation разом із французькою фірмою Sambre-et-Meuse приблизно на тій самій основі розробили систему «Trailer-Rail». Ходова її частина являє собою коротку платформу з низьким рівнем підлоги, яка встановлюється під передню частину одного напівпричепа й автомобільне шасі сусіднього, яке розміщується в нішах підлоги. Цю систему було розроблено, в основному, для місцевих перевезень, але вона дає змогу транспортувати стандартні напівпричепа будь-якої довжини.

Американський рухомий склад на комбінованому автомобільно-залізничному ході для змішаних перевезень типу «RoadRailer» набув широкого поширення у світі [44].

Використання бімодального транспорту на європейських залізницях пов'язане з необхідністю дотримання певних запобіжних заходів. Варто враховувати габаритні обмеження і проблеми, що пов'язані з безпекою руху. Так, європейський габарит набагато менший, ніж у США, а напівпричепа, що перевозяться, мають приблизно ту саму висоту (близько чотирьох метрів на автомобільному шляху). Нарешті, через наявність і вантажного і пасажирського руху на європейських залізницях, а також іншого підходу до безпеки руху, доводиться посилювати вимоги до з'єднання напівприцепів один з одним і з візками, вузлів фіксації автомобільних ходових частин та інших несучих елементів.

Перша в Європі бімодальна система типу «Trailer Train», випробувана Британськими залізницями на початку 1987 року, була випущена фірмою «Tiger Rail» (Велика Британія). У ній використовувалися залізничні візки з колесами малого діаметра. Передня частина кожного напівпричепа через штангу спирається на гніздо в задній частині сусіднього напівпричепа. Тривісні напівпричепа можуть мати максимальну масу бруто 44 т. Швидкість таких бімодальних систем на залізничній колії складає 100 км/год і, при меншому навантаженні на візки, 120 км/год.

1987 року Національне об'єднання залізниць Франції (SNCF) з ініціативи Комерційної дирекції вирішило розробити в співробітництві з машинобудівними фірмами ANF і Fruehauf-France дослідний зразок екіпажу для перевезення напівприцепів під назвою «Semi-Rail». Це дало змогу, з одного боку, зацікавити промисловість й експлуатаційників новим способом перевезення напівприцепів, а з іншого боку – застосувати різні нові технічні рішення для поліпшення роботи залізниць. Дещо пізніше в Європі з'явилися чисельні проекти подібних систем. Наприклад, в Італії – «Carrobimodale», у Франції – «Combitrans», у Нідерландах – «Coda-E», в Іспанії – «Transtrailer», у ФРН – «KombiTrailer» [44].

В італійській системі «Carrobimodale» для перевезення залізницями використовуються двовісні візки зі стандартним для Європи діаметром коліс. У задній частині напівпричепа передбачено кронштейн зі сферичним шарніром, на який спирається наступний напівпричіп.

У системі «Combitrans» для руху залізницею під кожен напівпричіп підкочуються два візки, що дає змогу підвищити вантажопідйомність за рахунок розподілу навантаження на чотири осі. Як і в інших системах, при русі залізницею автомобільні колеса піднімаються. Для перевстановлення з автомобільного на залізничний хід напівпричепа обладнані гідравлічним механізмом. Система «Combitrans» надає можливість реалізувати максимальну швидкість руху 160 км/год.

У системі «Coda-E» залізнична частина являє собою двовісний візок, розрахований на осьове навантаження 22,5 тс/вісь, який має перехідники для встановлення торців двох сусідніх напівпричепів. Навантаження на осі візків вирівнюється. Таким чином, можуть бути з'єднані в зчеп сім або вісім напівпричепів. На кінцях цього зчепу встановлюються вагони супроводу з ударно-тяговими приладами. Перший і останній напівпричепи спираються на консолі цих вагонів. У такий спосіб обмежуються поздовжні сили, які передаються через напівпричепи, і секції з них можна включати до складу будь-якого поїзда. Напівпричепи переводять з автомобільного на залізничний хід без допоміжного устаткування за допомогою пневморесор. При відповідних візках конструкція напівпричепи дає змогу розвивати швидкість до 140 км/год.

Іспанська фірма Tafesa, дочірнє підприємство міжнародної групи вантажних перевезень Transfesa, спільно з університетом Мадриду розробили напівпричіп «Transtrailer». На державних залізницях Іспанії (RENFE) проходили випробування п'ять дослідних напівпричепів на шести візках. Побудовано напівпричепи двох типів – з жорстким кузовом і м'якими стінами. Обидва вони мають довжину 13,6 м, ширину 2,5 м. Для пересування залізницями з різною шириною колій напівпричепи встановлюють на візки зі змінними колісними парами для широкої (1668 мм) і нормальної (1435 мм) колій. Максимальна швидкість при завантаженні напівпричепи до 25 т становить 140 км/год і знижується до 100 км/год при завантаженні 36,5 т [45].

Фірмами Talbot і Ackermann-Fruehauf (ФРН) розроблено систему «KombiTrailer». Вона включає тривісний автомобільний напівпричіп масою 8,9 т і довжиною 16,5 м, два типи перехідних пристроїв і традиційні двовісні візки вантажного вагона. Пристосування автомобільного напівпричепи для перевезень у системі «KombiTrailer» полягало в обладнанні його двома шворневими опорами з обох кінців, заднім упором, що забирається, колісними парами з пневмопідвішуванням, які закріплюються в піднятому положенні механічно, і повітряною гальмівною магістраллю. Перехідні пристрої-адаптери з'єднують напівпричепи між собою і закріплюють їх на залізничних візках.

Адаптери передають поздовжні сили між напівпричепами і візками. Кінцеві перехідні пристрої зі стандартними зчіпними приладами встановлюються на першому і останньому напівпричепах у бімодальному зчепі. Швидкість руху зчепу залежить від типу візків, що використовуються. Дослідні бімодальні напівпричепа можуть рухатися зі швидкостями до 100 км/год. при осьовому навантаженні 22,5 тс/вісь і до 160 км/год. – при навантаженні 18 тс/вісь [46].

Велика кількість європейських бімодальних транспортних систем є наслідком типової для розвитку всього європейського залізничного транспорту ситуації – кожна країна і кожен адміністративний підрозділ потребують індивідуального технічного рішення, з чим пов'язана проблема несумісності систем у міжнародних сполученнях. Перший крок до уніфікації було зроблено, коли французькі фірми Remafer і Fruehauf-France, а також німецькі фірми Talbot і Askermann-Fruehauf розробили і побудували систему «KombiRail», що є результатом вдалого поєднання систем «SemiRail» і «KombiTrailer». З 1995 року швейцарська фірма Migros експлуатує десять екіпажів типу «KombiRail» у човникових поїздах між своїми складами і магазинами, що пояснюється прагненням ширше використовувати залізничний транспорт, який забезпечує ліпше збереження навколишнього середовища.

Головна особливість польського проекту полягає у включенні до бімодального зчепу напівпричепа-цистерни. Таке вирішення бімодальної системи якісно вирізняє її серед інших. Таким чином, стають можливими перевезення продукції нафтопереробної та хімічної промисловості з використанням бімодального транспорту [47, 48].

Можна констатувати, що у США бімодальний транспорт знайшов свою нішу в транспортному комплексі, тоді як в Європі протягом десятка років експлуатація бімодального рухомого складу має дослідний характер.

Таким чином, обсяг контейнерних перевезень по всьому світу протягом останніх десятиріч демонструє стійку тенденцію до зростання, на яку незначним чином вплинули навіть такі події як світова фінансова криза 2008 року. В останні п'ять років це зростання відбувається здебільшого за рахунок

активного розвитку економіки Китаю та інших країн Південно-Східної Азії, а також через виробничий аутсорсінг до цього ж регіону. У зв'язку з цим багато країн приділяють підвищену увагу побудові надійних транспортних мостів між сходом та заходом, зокрема й розвитку контейнерної транспортної системи. Україна займає одну з передових позицій по обробці контейнерного вантажопотоку у Чорноморському регіоні, однак через ряд причин в останні роки обсяги його зменшуються. Для виправлення цієї ситуації необхідно удосконалення всього спектру операцій з організації руху контейнерного потоку, що в свою чергу вимагає проведення досліджень з виявлення проблемних питань та розробки шляхів їх вирішення. При цьому підвищену увагу слід приділяти розвитку залізничних контейнерних перевезень, які, як свідчить передовий європейський досвід, мають багато переваг перед автомобільними та здатні значно підвищити конкурентоспроможність України на ринку контейнерних перевезень [49].

1.3 Аналіз наукових досліджень з питань технології організації інтермодальних контейнерних перевезень

Питання удосконалення змішаних, комбінованих, інтермодальних перевезень висвітлювались у роботах таких вчених як: Аветикян М. А., Альошинський Є. С., Бутко Т. В., Вернигора Р. В., Гаджинський А. М., Галабурда В. Г., Давідіч Ю. О., Данько М. І., Дерibas А. Т., Дьомін Ю. В., Жуковицький І. В., Кірпа Г. М., Козаченко Д. М., Котенко А. М., Лаврухін О. В., Ломотько Д. В., Мироненко В. К., Миротин Л. Б., Музикіна Г. І., Мямлін С. В., Образцов Р. І., Павленко А. П., Повороженко В. В., Постан М. Я., Пшінько О. М., Резер С. М., Шibaєв О. Г., Яновський П. О. та інших.

Теоретичні основи з тематики дисертаційного дослідження викладені в працях Батисса Ф., Блейза Д., Каррьє Б., Граафа В., Кадержавека П., Ислама Д. М. З., Мадея Д., Хавенга Ян Х., Ругера Б., Зейдельмана Х., Тадича С., Россберга

Р., Франчішека Н., Фоскетта Ч. та інших. Більшість указаних робіт орієнтовано на західний ринок і не враховує особливостей умов вітчизняної економіки, специфіки організації роботи і технологічного рішення інтермодальних перевезень вантажів в Україні.

Організація змішаних перевезень вантажів є одним із головних напрямів сучасної європейської транспортної політики. Міжнародна практика свідчить, що в останні роки дві третини перевезень вантажів у міжнародному сполученні здійснювалось у змішаних сполученнях за принципом «від дверей до дверей» [50, 51]. У країнах Європи у зв'язку з законодавчим обмеженням щодо пропуску вантажних автомобілів широкого застосування набули комбіновані перевезення, які є більш екологічними і мають менший вплив на дорожнє полотно [52]. В роботі [53] акцент робиться на тому, що Європейська транспортна політика в рамках флагманської ініціативи «An efficient Europe in terms of resource use» на даний час спрямована на створення системи, яка підтримує європейський економічний прогрес, з метою підвищення конкурентоспроможності, надання послуги високої якості мобільності, забезпечуючи при цьому більш ефективне використання ресурсів завдяки інтермодальним перевезенням. У цій роботі розглянуто питання ціноутворення, безпосередньо пов'язане з перевезенням вантажу, починаючи з автомобільного транспорту, переходу на залізничний і закінчуючи знову автомобільним, але зовсім не врахована технологія переходу вантажу з одного виду транспорту на інший.

У роботах [54, 55] відмічається ефективність при застосуванні контейнерних та контрейлерних перевезень, при цьому забезпечується доставляння вантажів «від дверей до дверей», знижується завантаженість магістральних доріг, але не вирішується проблема «мертвої ваги» при прямуванні автомобілю з причепом або тягача з напівпричепом у складі автопоїзда.

У розвинених країнах логістика та інтермодальні перевезення вже давно стали основними факторами економічного розвитку, просторового зв'язку та

інтеграції ринку. Міжнародні транспортні потоки практично не розглядаються без використання інтермодальних технологій, тобто створення мережі логістичних центрів та інтермодальних транспортних терміналів, про що сказано в дослідженнях [56, 57]. Проте для розробки такої системи не завжди в достатній мірі враховують технічне оснащення цих терміналів та процедуру виконання операцій.

У роботах [58, 59] основну увагу приділено питанням цінової політики, інтермодальній транспортній стратегії та різнобічному плануванню. Розвиток інтермодальних перевезень пов'язаний з розвитком, насамперед, залізничних перевезень, які з іншими видами транспорту складають єдиний транспортно-логістичний ланцюг, але нерозкритим залишається питання щодо технологічного вирішення інтермодальних перевезень.

Для усунення існуючих перешкод на шляху до впровадження мультимодальних перевезень вантажів у країнах Європи необхідне запровадження реформ [60, 61], що спрямовані на підвищення рівня конкурентоспроможності залізничних перевезень, доставляння вантажів «від дверей до дверей», спрощення процедур перетину кордонів, розширення клієнтської бази, невирішеними залишаються питання щодо технічної сумісності вагонів при перетині державних кордонів.

Усуненням існуючих бар'єрів в області комбінованих перевезень займались автори статті [62] на основі багатоагентної системи, яка передбачає узгодженість дії на користь конкретного вирішення проблеми з підтримкою взаємодіючих агентів. Але для адекватної організації взаємодії всіх ланок транспортних ланцюжків обов'язково треба враховувати імовірність станів транспортних засобів.

Досвід ряду країн доказує економічну ефективність інтермодальних перевезень вантажів [63], відмічається, що такі перевезення забезпечують доставку вантажів «від дверей до дверей», але основним їх недоліком є великі часові рамки термінів навантаження і відправлення вантажу, не наведено математичного обґрунтування такої технології перевезення.

В статті [64] обговорюються перспективи розвитку залізничних вантажних перевезень у взаємодії з автомобільним транспортом як єдиного логістичного транспортного ланцюга. Особливий акцент робиться на поточну ситуацію в Європі таких перевезень, розглядаються технічні обмеження, досліджуються можливості переходу з одного виду транспорту на інший та надаються рішення щодо покращення обслуговування вантажовідправників.

В роботі [65] автори пропонують шляхи удосконалення інфраструктури терміналів передачі вантажів із залізничного транспорту на автомобільний або морський для збереження і навіть покращення свого конкурентного становища на ринку вантажних перевезень та підвищення продуктивності мережі взагалі.

Автори в своїй роботі [66] вивчають новий автоматизований контейнерний термінал – систему для перевантаження контейнерів із залізничних колій на морські причали або автомобілі. Для цього використовуються *ground trolleys, transfer platforms and frame trolleys*. Це дослідження розкладає систему на кілька підсистем. В роботі, за допомогою ланцюга Маркова, розроблена модель для аналізу пропускної здатності *transfer platforms* та проведені численні експерименти темпу переробки *ground trolleys*.

В роботах [67, 68] розглядаються переваги та етапи розвитку контейнерних перевезень, так перевезення вантажів у контейнерах дозволяють уніфікувати транспортну технологію, що робить цей вид доставки вантажів дуже привабливим для морських ліній, автотранспорту та залізниці.

Універсальність та економічність контейнерних перевезень, а також широка номенклатура вантажів, що може перевозитись у контейнерах, призвели до суттєвого зростання популярності цього виду доставки вантажів у світі перевезень [69, 70].

В статтях [71–73] розглядається доставляння вантажів у контейнерах із застосуванням бімодальної технології доставляння вантажів, яка дозволяє зменшити собівартість перевезень та транспортні витрати, наведено порівняння вартості перевезення вантажів автомобільним та залізничним транспортом, але для адекватної організації взаємодії всіх транспортних ланок необхідно врахувати

більшу кількість показників. Згідно з експлуатаційним досвідом [74, 75] бімодальна технологія може застосовуватись лише при перевезенні вантажів спеціальними вагонами (платформами) та спеціальними поїздами, в основному для перевезення вантажів в універсальних та спеціальних контейнерах, що обмежує номенклатуру вантажів, які перевозяться. У статті [76] висвітлені переваги бімодальної системи, основною з яких є повніше завантаження поїзда корисним вантажем порівняно з системою змінних кузовів на платформах та з сідловими напівпричепами на вагонах зі зниженою навантажувальною площадкою за рахунок меншої маси тари, але не повністю знімається проблема «мертвої ваги». У роботах [77, 78] розглядається можливість приєднати групу вагонів бімодальної системи до складу вантажного поїзда, коли немає достатньої кількості вантажу у вантажовідправника, щоб заповнити увесь маршрутний поїзд.

У роботі [79] названі переваги бімодальних перевезень та доцільність організації перевезення на існуючих маршрутах перевезення контейнерів з морських портів у крупні міста: Київ, Харків, Дніпро, Донецьк та Луганськ. Термін окупності технічних засобів на цих маршрутах складає 8-10 років. Пропонується в подальшому бімодальний транспорт застосовувати для обслуговування сільськогосподарських районів, середніх та малих міст, що забезпечує новий підхід до вирішення задачі концентрації місцевої роботи на ділянках залізниць. Бімодальні перевезення будуть ефективними також і в міждержавному сполученні України з західноєвропейськими країнами. При цьому перевезення вантажів бімодальними транспортними засобами може здійснюватись як на існуючих маршрутах руху контейнерних та контрейлерних поїздів по колії 1520 мм, так і ділянками колії 1435 мм. В останньому випадку необхідно спорудження терміналів комплексів на Львівській залізниці з введенням колії 1435 мм в Україну.

Аналіз різноманітних систем перевезень вантажів комбінованим транспортом наведено у роботі [80], де вказано, що при існуючій структурі витрат комбіновані перевезення є економічно більш виправданими у порівнянні

з автомобільними. Загалом, виходячи з досліджень закордонних та вітчизняних вчених, інтермодальні контейнерні перевезення є перспективними та досконалыми у зв'язку з тим, що поєднують у собі переваги автомобільного, морського та залізничного транспорту. Інтермодальний транспорт у порівнянні з автомобільним транспортом забезпечує у 2,5-3,5 кратне зниження паливно-енергетичних витрат та собівартості перевезень, скорочення часу доставки вантажу від відправника до вантажоодержувача, підвищення безпеки перевезень, зниження забруднення навколишнього середовища, ефективне використання існуючих залізниць.

Таким чином, маючи велику різноманітність транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів, необхідно обирати найбільш відповідний варіант для перевезення вантажів при конкретних умовах та обмеженнях, враховуючи відстань та обсяг перевезення.

1.4 Аналіз автоматизованих засобів управління контейнерних перевезень

У країнах Західної Європи, США та Японії контейнерні перевезення є дуже поширеними. Найбільш успішною країною з перевезень вантажів у контейнерах залізничним транспортом у Західній Європі стала Німеччина, в Західній Європі у більшій мірі розвивалися перевезення трейлерів на залізничних платформах. В США ці перевезення отримали назву «Піггі-бек», у Німеччині – «Хукепак», у Франції – «Кангару». Подібні перевезення стали фундаментом тісної інтеграції між залізничним та автомобільним транспортом [80].

Сучасні універсальні контейнери зручні для перевезення як промислових вантажів, так і продуктів харчування. При цьому контейнерні перевезення мають ряд переваг, таких як: оперативність та своєчасність доставки вантажів, особливо, якщо перевозяться швидкопсувні вантажі, забезпечення схоронності

вантажів. Ще одним важливим аспектом якісних контейнерних перевезень є безперервний контроль за переміщенням вантажу маршрутом, точне дотримання строків та відмічання всіх зупиночних пунктів.

Запорукою успішної роботи є автоматизація контейнерних перевезень що забезпечує високий рівень продуктивності і безпеки. Так у голландському Роттердамі контейнерний термінал розроблений за принципом обробки вантажів «контейнеровоз-берег» з використанням кранів для розвантаження контейнерів і автоконтейнеровозів типу AGV (Automated Guided Vehicles), що дослівно означає «автоматично керований транспортний засіб». Розробниками автоматизованого транспорту стала компанія «Gottwald Port Technology» підрозділ «Demag Cranes», що займає провідне місце в автоматизації процесу обробки контейнерів. автоматично керований транспортний засіб (AGV), що показаний на рисунку 1.17.



Рисунок 1.17 – Безпілотний, автоматично керований транспортний засіб типу AGV

Безпілотний, автоматично керований транспортний засіб типу AGV являє собою платформу на колісній базі, що має довжину 15 м і ширину 3 м. В рух автоконтейнеровоз приводиться за допомогою дизель-електричного

малошумного двигуна, що відповідає стандарту Євро-5. До речі наступним поколінням безпілотних платформ буде повністю електричний привід, який взагалі виключить рівень шуму і шкідливих викидів в атмосферу. Перевагами такої автоматизації контейнерних перевезень є створення абсолютно безпечних місць для докерів і водіїв вантажівок. Завдяки комп'ютерному управлінню, транспортні засоби безшумно, без зупинок, з високою швидкістю і точністю забезпечать доставку двадцятифутових, сорокафутових і навіть 45-футових контейнерів, згідно з отриманими вказівками.

Заправка засобів паливом також відбувається автоматично. Рухаються платформи завдяки вбудованій бортовій навігаційній системи по так званим транспондерам або електромагнітним маркерами, вмонтованим в асфальт по всьому периметру терміналу.



Рисунок 1.18 – Самопідйомний автоматизований керований транспортний засіб (Lift AGV)

Модифікацією вищеназваного транспортного пристрою став самопідйомний автоматизований керований транспортний засіб під назвою Lift AGV (Lift Automated Guided Vehicles), що зображено на рисунку 1.18. На

відміну від попередника ця платформа має два електричних приводу, що дозволяють без участі людини встановлювати і знімати контейнер зі своєї платформи на спеціальній складській стелаж [81].

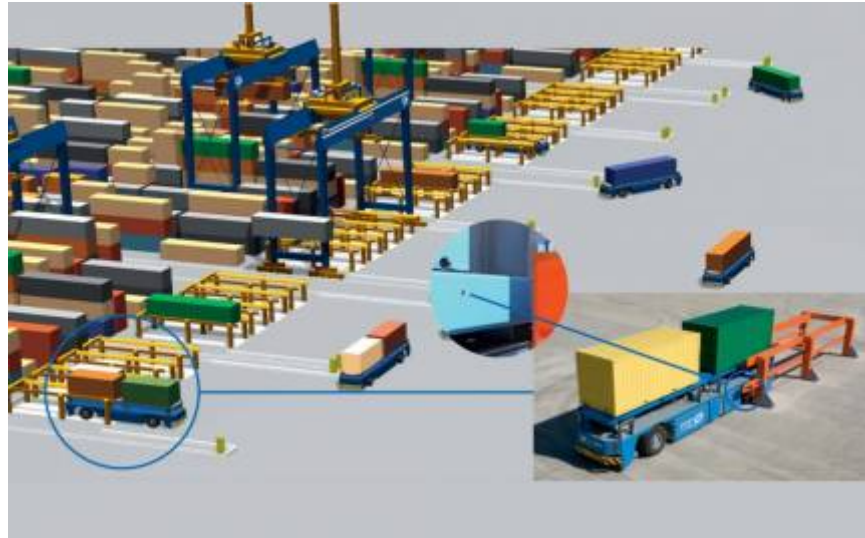


Рисунок 1.19 – Контейнерний термінал Maasvlakte II

Крім того транспортний засіб типу Lift AGV дозволяє розташувати відразу два двадцятифутових контейнера незалежно один від одного і зі швидкістю 22 км на годину доставити їх від причальної стінки на контейнерний майданчик.

Контейнерний термінал Maasvlakte II (рисунок 1.19) перший порт в світі, який оснащений такими транспортними засобами. Завдяки цим машинам продуктивність порту підвищиться на порядок. На першому етапі контейнерному терміналу поставлено 36 автоконтейнеровозів типу Lift AGV і 128 спеціальних стелажів. Так загальне число транспортних засобів типу AGV в контейнерному терміналі може бути незначним, якщо зменшити періодичність обробки кожного контейнера [81].

В Російській Федерації існує автоматизована система управління контейнерних перевезень ДИСКОН, що видає такі інформаційні дані: кількість

контейнерів, перевантажених на кожній станції або в порту за будь-який встановлений період часу, загальне число транзитних контейнерів, які перебувають на дорогах Росії, терміни їх просування по дорогах, число затриманих під час перевезення контейнерів, час перебування їх в процесі перевезення, прогноз транзитних контейнерів на пункти перевантаження [82].

Жоден контейнер не повинен виходити з поля зору системи при знаходженні його на залізницях. Такі підходи прийняті зараз в світі і реалізовані на багатьох провідних залізницях Європи і Америки. Таким чином, зі створенням нової Автоматизована система управління контейнерними перевезеннями виходять на один рівень з передовими залізницями світу.

Автоматизована система ДИСКОН аналогічно діючій системі управління в галузі має трирівневу структуру:

- лінійний рівень - рівень станцій;
- дорожній рівень - рівень управлінь регіональних доріг;
- мережевий рівень - рівень Міністерства шляхів сполучення.

На лінійному рівні безпосередньо здійснюються операції з контейнерами, документування цих операцій і введення інформації в систему.

Лінійний рівень ДИСКОН заснований на використанні АСУ контейнерного пункту (АСУ КП), АРМ СПВ (по пунктам переходу з іноземними залізницями), АРМ агента припортовий станції. АСУ КП являє собою комплекс АРМ, основними з яких є АРМ прийомоздавальника контейнерного майданчика (АРМ ПСК) і АРМ товарного касира (АРМ ТВК). До складу АСУ КП можуть входити також АРМ завідуючого контейнерним пунктом (відділом), АРМ актово-претензійного відділу. Для великих систем використовується виділений сервер. Для систем з 5-6 АРМ як сервер може використовуватися одна з робочих місць.

У світі існує і практично використовується кілька типів систем автоматичного зчитування інформації з контейнерів. Основними з них є системи двох типів: з використанням датчиків, що встановлюються на контейнери, і оптичні системи зчитування номерів контейнерів.

Для оптимізації порядку формування вагонів з контейнерами повинні бути методично опрацьовані і вирішені дві задачі: складання оптимального плану формування вагонів з контейнерами і контроль за дотриманням плану формування вагонів з контейнерами. Вирішення першого завдання повинно забезпечити скорочення витрат транспорту на перевезення контейнерів, а другий – не допустити втрат від порушень встановленого оптимального порядку пропуску вагонів з контейнерами.

Також ставиться завдання створення автоматизованої картотеки «власних» контейнерів. Одночасно повинна вирішуватися і завдання автоматизованого отримання інформації про використання «власних» контейнерів шляхом створення відповідної інформаційно-довідкової системи.

Планується розробити та впровадити на базовому об'єкті автоматичну систему ідентифікації положення крана. Суть системи: контейнерний майданчик обладнується системою датчиків, які визначають координати контейнерного майданчика, на крані встановлюються два зчитують пристрої для координат X і Y і промисловий комп'ютер, пов'язаний по радіоканалу з АСУ КП.

На комп'ютер надходять команди кранівнику на виконання конкретних вантажно-розвантажувальних операцій (на основі рішення задачі комплектоутворення і оперативного планування роботи крана). При установці контейнера на майданчику або вагоні його координати автоматично формуються до номера контейнера і вводяться в базу даних. Таким чином, забезпечується автоматичне ведення моделі контейнерного майданчика, підвищення продуктивності праці, скорочення часу обробки подачі.

Сучасний стан контейнерного господарства на залізницях України лишається незадовільним. Оптимізацію технічного оснащення контейнерного пункту необхідно провести шляхом розвитку інформаційних технологій у сфері вантажної та комерційної роботи. Такий напрям передбачає автоматизацію та інтелектуалізацію термінально-складської діяльності, створення сучасних мультимодальних терміналів, оснащених інформаційними системами, що

дозволяють моделювати процес вантажопереробки та переміщення вантажів на території наявних термінальних комплексів [83].

Так, при перевезенні контейнерів експедиторські компанії пропонують системи навігаційного стеження за вантажем. Далі розглянемо інноваційні технологічні рішення і новітні пристрої, які можуть бути застосовані на українських терміналах для вдосконалення їх роботи.

З метою оптимізації роботи контейнерних терміналів пропонується використовувати автоматизовану систему управління контейнерним терміналом CTMS (ConsIDTransportManagementSystem). З метою оптимізації роботи приймальників і товарних касирів контейнерних терміналів пропонується використовувати автоматизовану систему управління контейнерним терміналом CTMS (ConsIDTransportManagementSystem) [84].

CTMS забезпечує управління роботою перевантажувальної техніки, транспорту і персоналу, а також контроль переміщення контейнерів, оперативне планування завдань персоналу з урахуванням поточної обстановки.

При цьому усі операції під управлінням автоматизованої системи управління контейнерним терміналом виконуються з використанням мобільних терміналів збору даних (МТЗД). Результат виконання будь-якої операції заноситься в CTMS. При цьому на контейнерному терміналі повинна бути розгорнута радіомережа (WiFi) або на контейнерному терміналі може бути задіяна RFID технологія (метод автоматичної ідентифікації об'єктів, в якому за допомогою радіосигналів зчитуються або записуються дані, що зберігаються в так званих транспондерах, або RFID-мітках) для ідентифікації контейнерів при виконанні операцій з ними. Так, кожен контейнер при прийомі повинен бути забезпечений радіоміткою [85].

Рішення CTMS підтримує такі основні функції:

1. Ведення довідників системи: довідника контейнерів, довідника вантажів, довідника власників контейнерів, довідника контрагентів, довідника вантажної техніки.

2. Управління простором контейнерного майданчика. Зонування контейнерного майданчика.

3. Управління операціями з контейнерами: вивантаженням, вантаженням, доглядом, зважуванням, ремонтом.

4. Управління стратегіями переміщення контейнера на контейнерному терміналі.

5. Управління угрупованням контейнерів в штабелі за різними критеріями.

6. Управління роботою перевантажувальної техніки.

7. Управління обробкою транспорту: автомобільного і залізничного.

8. Формування виробничої звітності.

Крім того, СТMS підтримує ряд істотних додаткових функцій. Так, за погодженням із замовником, в рамках проекту автоматизації контейнерного терміналу, можуть бути також автоматизовані операції управління роботою автомобільного і залізничного транспорту на території контейнерного терміналу.

При перевірці контейнера в СТMS систему заноситься інформація: номер контейнера; стан придатний або дефектний; статус завантаженості: навантажений або порожній; дата побудови; клас небезпеки вантажу.

Модуль управління роботою залізничного транспорту на контейнерному терміналі дозволяє прискорити обробку прибулих по залізниці або відвантажених на залізничний рухомий склад контейнерів.

Функції модуля такі:

1. Контроль прибуття рухомого складу на залізничну колію.

2. Опис прибулих вагонів: номер, тип, власник, ознака придатності.

3. Опис (перевірка) контейнерів на вагоні.

4. Зміна станів вагона в залежності від стадії його обробки.

5. Формування комплектів вагонів на відвантаження: у напрямку, власнику рухомого складу, сумарному вазі контейнерів.

6. Управління навантаженням-розвантаженням контейнерів на вагони.

7. Реєстрація виходу вагонів з ТРТ [86].

Для оптимізації управління роботою Річстакери (навантажувачів типу «KALMAR») можуть бути застосовані RF-ID технології. При цьому RF-ID мітки розміщуються на контейнер при приході контейнера і знімаються при догляді. Так само слід встановити RF-ID зчитувач на річстакерах. RF-ID зчитувач встановлюється на один з захоплень Річстакери. RF-ID мітка кріпиться на контейнер на бічну стінку. Використання RF-ID ідентифікації дає збільшення швидкості введення інформації при виборі завдань обробки контейнера і позбавляє оператора від ручного введення при роботі [87].

Для того, щоб застосувати цю систему на території України, нам необхідно визначити оптимальний режим роботи козлового крана, на основі визначення часу, а також які ресурси застосовуються і впливають на різноманітні фактори по навантаженню-розвантаженню контейнера. З цієї позиції необхідно дотримуватися умов, які будуть сприяти зменшенню загального часу роботи транспортної одиниці.

Таким чином, автоматизована система управління контейнерним пунктом (АСУКП) включає в себе комплекс автоматизованих робочих місць.

- АРМ оператора технічного огляду;
- АРМ приймальників КП;
- АРМ товарних касирів;
- АРМ диспетчера по автотранспорту;
- АРМ працівника актового столу;
- АРМ працівника контрольно-пропускного пункту;
- АРМ керівника КП.

Система функціонує в реальному режимі часу, і охоплює всі технологічні операції, що виконуються на КП (прибуття, вивантаження, сортування, заведення-вивезення, навантаження, відправлення).

Інформаційне забезпечення системи базується на інформації, що одержується:

- про підхід контейнерів;

- виникає при виконанні конкретних технологічних операцій;
- утворюється при оформленні перевізних документів.

Основними джерелами одержуваного ефекту від впровадження АСУКП є скорочення часу перебування контейнерів на КП, скорочуються простой вагонів, автотранспорту під вантажно-розвантажувальними операціями, підвищується продуктивність праці працівників КП.

Простий контейнерів на КП скорочується за рахунок:

- прискорення пошуку контейнерів;
- збільшення частки контейнерів, перевантажуються прямим варіантом;
- автоматизація обліку контейнерів і контролю за термінами їх знаходження на станції і складах клієнтури;
- скорочення часу на ПРР операцій.

Відбувається економія за рахунок процесу комплектоутворення. Збільшується кількість прямих вагонів, контейнерів, які прямують на одну станцію призначення без сортування контейнерів на шляху прямування. Відбувається економія за рахунок зниження простою автомашин на КП. Перш за все, за рахунок прискорення оформлення документів на завезення-вивезення, скорочення черг в очікуванні навантаження-вивантаження, раціонального використання автотранспорту, автоматизації планування завезення-вивезення контейнерів (скорочує на 20% пробіг автомашин з порожніми контейнерами). Економія заробітної плати здійснюється за рахунок скорочення штату працівників.

З метою прискорення доставки вантажів, зменшення часу обороту контейнерів і вагонів, скорочення простою під накопиченням вагонів, скороченням числа і тривалості угруповань, підвищення продуктивності вантажно-розвантажувальних механізмів, збільшення частки перевантаження за прямим варіантом, зниження собівартості контейнерних перевезень і ПРР розробляється план формування контейнерних перевезень.

Передбачається, що впровадження системи автоматизації управління контейнерним терміналом дасть можливість підвищити продуктивність праці,

скоротить час, необхідний для обробки контейнерів, призведе до зниження невиробничих витрат.

Дана технологія, значною мірою скорочує не тільки час роботи прийомоздавальника але й впливає на швидкість та точність при навантаженні та розвантаженні контейнерів з платформ та машин. Що автоматично зменшує людський фактор і ряд інших чинників, які впливають на процес роботи.

1.5 Висновки до розділу 1

1. Вигідне географічне положення України в усіх напрямках, наявність щільної мережі залізниць, достатньо потужних портів, перспектива постійного зростання обсягів вантажів по усім транспортним коридорам, що проходять територією України, дозволяє забезпечити пропуск існуючих і перспективних вантажопотоків та є передумовою для подальшого розвитку різних видів вантажних перевезень через територію країни.

2. Аналіз показників роботи АТ УЗ показав, що обсяги перевезень залізничним транспортом лишаються досить стабільними, що підтверджує конкурентоспроможність цього виду транспорту. Більшу частку перевезення вантажів України як внутрішніх (всередині країни), так і міжнародних, становлять перевезення залізничним транспортом. Так, протягом 2018-2019 років вантажообіг залізничного транспорту становив 55,9 % вантажообігу всіх видів транспорту, а обсяг перевезених залізничним транспортом вантажів становив 52 % загального обсягу вантажів у 2018 році, 48 % – у 2019 році.

3. Спрямованість економічного розвитку на ринку транспортних послуг України зумовлює розвиток перевезень вантажів за участю декількох видів транспорту, що підтверджує доцільність застосування інтермодальних перевезень. Аналіз статистичних даних функціонування транспортних систем світу і ролі та значення інтермодальних перевезень у реалізації транспортного

потенціалу України дозволили зробити висновок, що інтермодальні перевезення вантажів є однією з найважливіших транспортних складових світового та національного значення, що сприяють ефективній взаємодії різних транспортних систем при наданні якісних послуг сучасного формату. Так, у країнах Західної Європи, США і Канаді інтермодальні перевезення складають 15–20 % загального обсягу перевезень залізничного транспорту. Збільшення обсягів таких перевезень у Європі складає у середньому 20 % на рік.

4. Більшість досліджень інтермодальних перевезень зводиться до мінімізації експлуатаційних витрат, але в сучасних умовах значна кількість вантажовласників вимагає від перевізника, в першу чергу, прискорення доставки і не обов'язково з мінімізацією експлуатаційних витрат. Тому є необхідність у виборі маршруту інтермодального перевезення не тільки за критерієм вартості доставки, але й за часом.

5. Таким чином, виникає необхідність вирішення наукового завдання удосконалення технології інтермодальних перевезень за двома критеріями (експлуатаційні витрати і термін доставки), які різні за своєю природою, що у якості вхідних даних потребує прогнозування завантаженості елементів транспортної системи.

РОЗДІЛ 2

ФОРМУВАННЯ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

2.1 Визначення вхідних даних моделі прогнозування

За даними «Alphaliner», в 1-му півріччі 2017 року контейнерообіг 250 морських портів світу виріс приблизно на 6,7 % порівняно з аналогічним періодом минулого року. При цьому в 2-му кварталі нинішнього року зростання обсягів прискорилося до 7,4 %, в порівнянні з 5,9 % в 1-му кварталі, а за підсумками року обсяги контейнерної перевалки можуть зрости більш ніж на 6 %, досягнувши шестирічного максимуму. Висновки «Alphaliner» вельми тісно корелюють з прогнозами аналітиків «Drewry», оцінюють темпи зростання за 1-е півріччя в 6,6 %, і також прогнозує рекордне зростання в цілому за 2017 рік.

За даними «Container Trade Statistics», обсяги перевезень контейнерів на маршрутах з портів Азії в Європу за 7 місяців 2017 р виросли на 5,3 %, склавши 9,4 млн TEU. У зворотному напрямку на Азію обсяги зросли на 3,7 %, до 1,6 млн. TEU. Але на транстихоокеанських сервісах в напрямку США зростання обсягів склало 7,3 %, а в зворотному напрямку трафік збільшився на 8 % до 2,7 млн TEU.

У серпні 2017 року розраховується «Drewry» на базі даних 220 портів світу, що дають приблизно 75 % глобального контейнерообігу, Container Port Throughput Indices досяг 126,8 пунктів, що є максимальним значенням даного індексу з моменту початку його обчислення в січні 2012 році, у порівнянні з липнем індекс виріс на 0,6 пункту, або 0,5 %, а ось в річному розрізі - на 6,8 пунктів, або 5,7 %. При цьому найбільший приріст показали африканські країни (+ 14,3 %), але що більш істотно - Північна Америка (+ 7,0 %). Китай і Європа показали однаковий приріст в розмірі 5,1 % [88].

Вантажообіг морських портів Далекосхідного басейну за підсумками 2018 року збільшився в порівнянні з 2017 роком на 4,5 % і склав 200,5 млн т. За підсумками 2018 року в Далекосхідному басейні переробка вантажів збільшилася на 4,5 % до 200,5 млн т, а в порівнянні з 2004 роком в 2,9 рази. Майже половина вантажообігу – це вугілля. Є й інші категорії вантажів з високим потенціалом зростання, в тому числі за рахунок експорту в країни азійсько-тихоокеанського регіону (АТР) – номенклатура доступних ніш для інвестування істотно вище: наприклад, зернові, контейнери, нафтохімія.

Обсяг перевалки суховантажів склав 125,5 млн т (+ 6,8 %), обсяг перевалки наливних вантажів – 75 млн т (+ 1%). На збільшення обсягу перевалки суховантажів вплинув зростання обсягів перевалки навалювальних вантажів на 5,9 %, генеральних вантажів на 9,2 %, вантажів в контейнерах на 12,4 %. Збільшення обсягу перевантаження наливних вантажів стався за рахунок збільшення обсягу перевалки нафтопродуктів на 3,7 %, сирої нафти на 0,6 % при зниженні обсягів перевалки скрапленого газу на 1 %.

Частка експортних вантажів в вантажообігу Далекосхідного басейну залишається значною – 86,2 %, частки імпорту, транзиту та каботажу складають відповідно 3,6 %, 0,5 % і 9,7 %.

За підсумками 2018 року вантажопереробка морських портів Арктичного басейну в порівнянні з 2017 роком збільшилась в 1,3 рази і склала 92,7 млн т: обсяг перевалки наливних вантажів склав 62,3 млн т (+ 41 %), суховантажів – 30,4 млн т (+ 4,3 %).

Обсяг перевалки суховантажів виріс в основному за рахунок збільшення обсягу перевалки навалювальних вантажів на 4,4 % (вугілля (+ 12,2 %), мінеральних добрив (+ 6,7 %)). У той же час зменшилися обсяги перевалки генеральних вантажів на 14,6 %, перекачування наливних вантажів збільшилось в 1,4 рази, в основному за рахунок зростання перекачування сирої нафти на 23,9 % і триваючому зростанні відвантаження зрідженого газу через порт Сабетта. Частка перевантаження експортних вантажів в Арктичному басейні

становить 60 %, імпортих – 0,5 %, каботажних – 39,5 %. Перевантаження транзитних вантажів в морських портах Арктичного басейну не здійснювалось.

Контейнерообіг портів світу за I квартал 2017 року виріс на 5,8 % відносно аналогічного періоду минулого року. За перші три місяці контейнерообіг портів Китаю виріс на 7,3 %. Трафік через 18 найбільших портів США і Канади, на які припадає понад 85 % сукупного обороту двох країн, виріс на 7,4 %.

Триває переорієнтація вантажопотоку з Азії на порти східного узбережжя Північної Америки. За період з січня по квітень частка портів західного узбережжя в сукупному контейнерообізі портів двох країн знизилася до 65,32 % проти 66,8 % роком раніше, частка східного узбережжя збільшилася за минулий рік з 30,44 % до 31,1 %, узбережжя Мексиканської затоки – з 2,43 % до 3,28 %.

На рисунку 2.1 наведено діаграму, що показує контейнерообіг між портами Далекого Сходу та іншими регіонами, на рисунку 2.2 – контейнерообіг між країнами Європи та Північної Америки і у зворотному напрямку, на рисунку 2.3 – контейнерообіг між країнами Північної Америки та Азії і у зворотному напрямку, на рисунку 2.4 – контейнерообіг між країнами Європи та Азії і у зворотному напрямку.

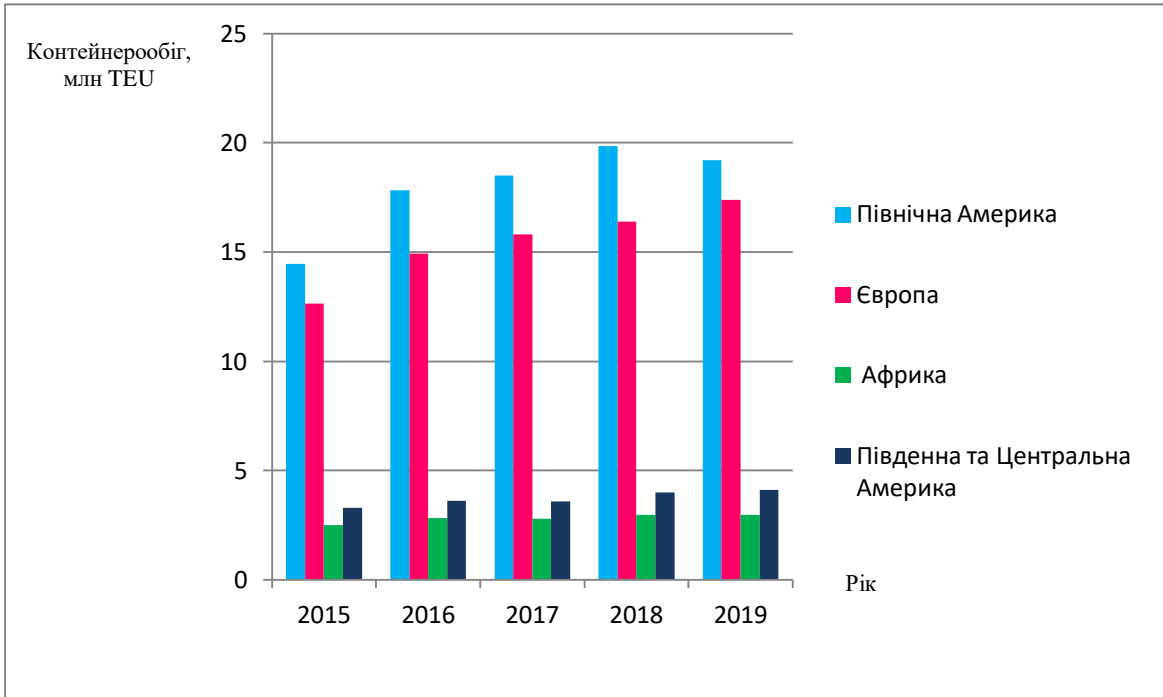


Рисунок 2.1 – Контэйнерообіг між портами Далекого Сходу та іншими регіонами

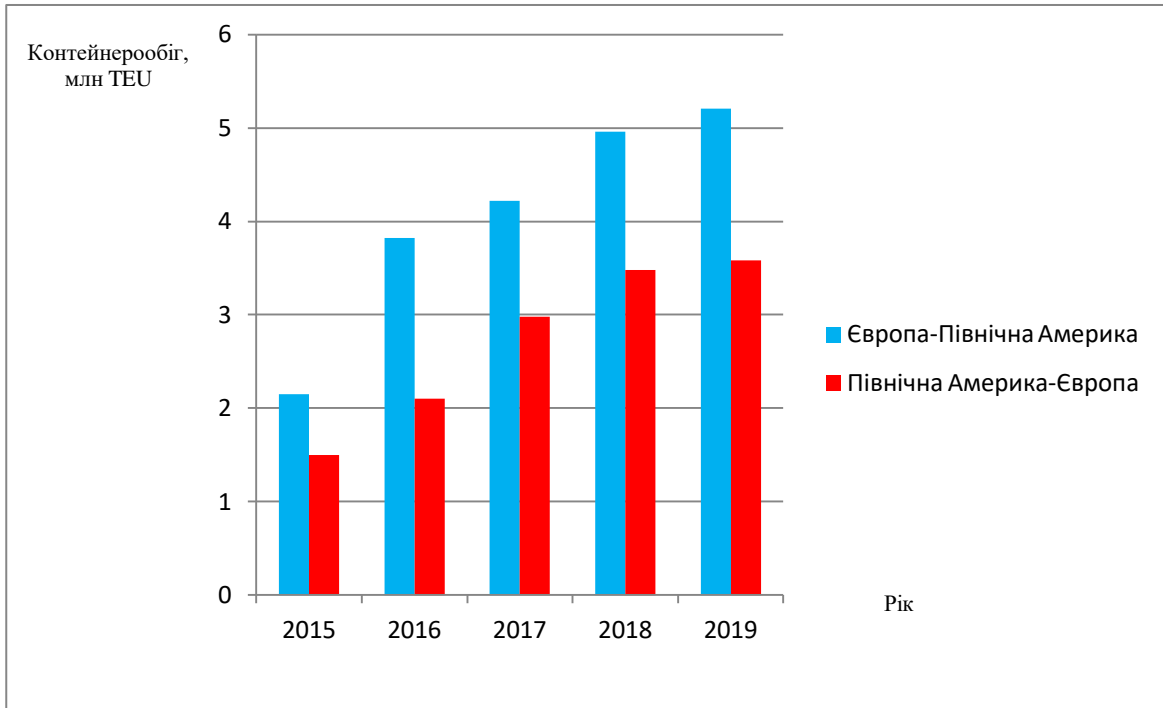


Рисунок 2.2 – Контэйнерообіг між країнами Європи та Північної Америки і у зворотному напрямку

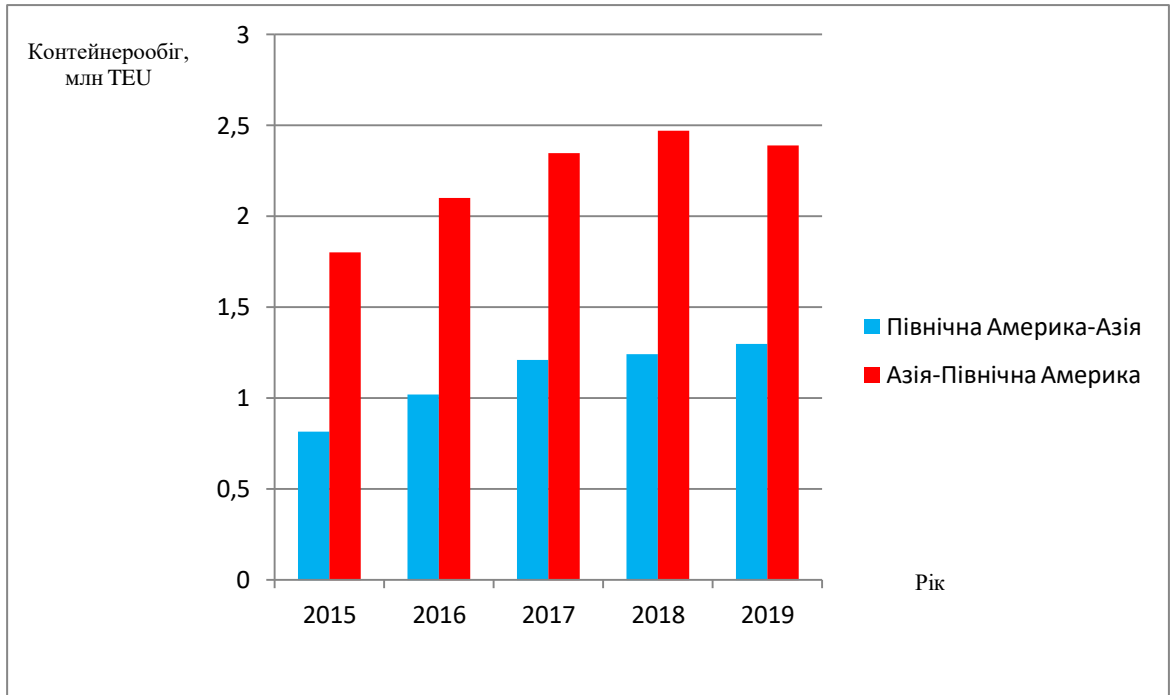


Рисунок 2.3 – Контейнерообіг між країнами Північної Америки та Азії і у зворотному напрямку

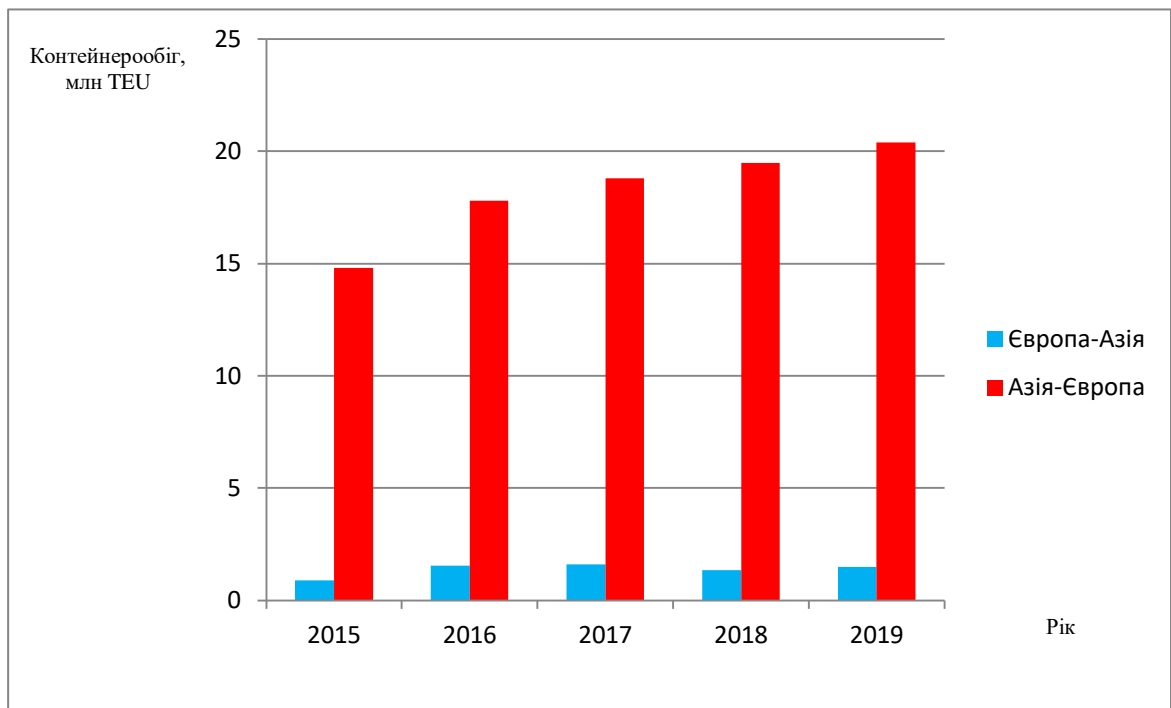


Рисунок 2.4 – Контейнерообіг між країнами Європи та Азії і у зворотному напрямку

Порти Китаю в 2019 році збільшили вантажообіг в порівнянні з 2018 роком на 8,8 % – до 13,95 млрд т. Про це свідчать дані Міністерства транспорту КНР.

За даними міністерства перевалка зовнішньоторговельних вантажів зросла на 4,8 % – до 4,32 млрд т. Контейнерообіг збільшився на 4,4 % – до 261,1 млн TEU.

Зростання обсягів перевалки зафіксовано на тлі збільшення вантажоперевезень внутрішніми водними шляхами на 6,3 % – до 7,47 млрд т.

Найбільшими портами Китаю є Шанхай, Нінбо-Чжоушань, Шеньжень, Гонконг, Гуанчжоу, Циндао, Тяньцзінь, Далянь, Циньхуандао, Сяминь.

Десять найбільших контейнерних портів світу перевалили в 2018 році 244 млн TEU, що на 4,3 % більше, ніж у 2017 році. Сім з десяти найбільших контейнерних портів світу розташовані у Китаї [89].

Шанхай очолює рейтинг з 2010 року, проте Сінгапуру, що займає друге місце, вдалося у 2018 році скоротити відрив від лідера більш ніж на млн TEU, до 5,4 млн TEU. Гуанчжоу був другим самим швидкозростаючим і піднявся на два рядки – на 5 місце, в той час як Гонконг, який до 2004 року був найбільшим контейнерним портом в світі, опустився на 2 позиції – на 7 місце. Обіг Гонконгу знизився в 2018 на 5,7 %, до 19,6 млн TEU [90].

Шанхай зберіг лідерство у якості найбільш завантаженого контейнерного порту у світі – за підсумками 2019 року його контейнерообіг склав 43,3 млн TEU. У порівнянні з підсумковими показниками 2018 року обіг контейнерів зріс на 3,1 %. Найближчий конкурент Шанхаю – Сінгапур, який за 12 місяців 2019 року обробив 37,2 млн TEU (+1,6 % до 2018 року).

У грудні звітного року Шанхай знизив обіг контейнерів однаково на 8,5 % як відносно попереднього місяця, так і по відношенню до грудня 2018 року – до 3,25 млн TEU.

Через причали Сінгапуру у грудні пройшло 3,2 млн TEU (-2,1 % до листопада 2019 та +2,2 % до грудня 2018 року) [90].

Серед портів Європи, що орієнтуються в основному на переробку імпорتنих та експортних контейнеропотоків, найбільший зріст продемонстрували Роттердам та Антверпен.

Обсяги перевалки через порти Північної Європи виросли на 6,6 %. Найбільш високі темпи зростання були зафіксовані в найбільшому контейнерному порту Європи – Роттердам (+ 8 %), трафік через порти Гамбург і Бремерхафен знизився на 0,7 % і 1 %, відповідно.

Другий найбільший контейнерний порт Європи Антверпен збільшив контейнерообіг за підсумками дев'яти місяців 2019 року на 6,4 %, сукупні обсяги перевалки зросли на 1,1 % [91].

На рисунку 2.5 наведено діаграму, що показує контейнерообіг чотирьох найбільших портів світу.

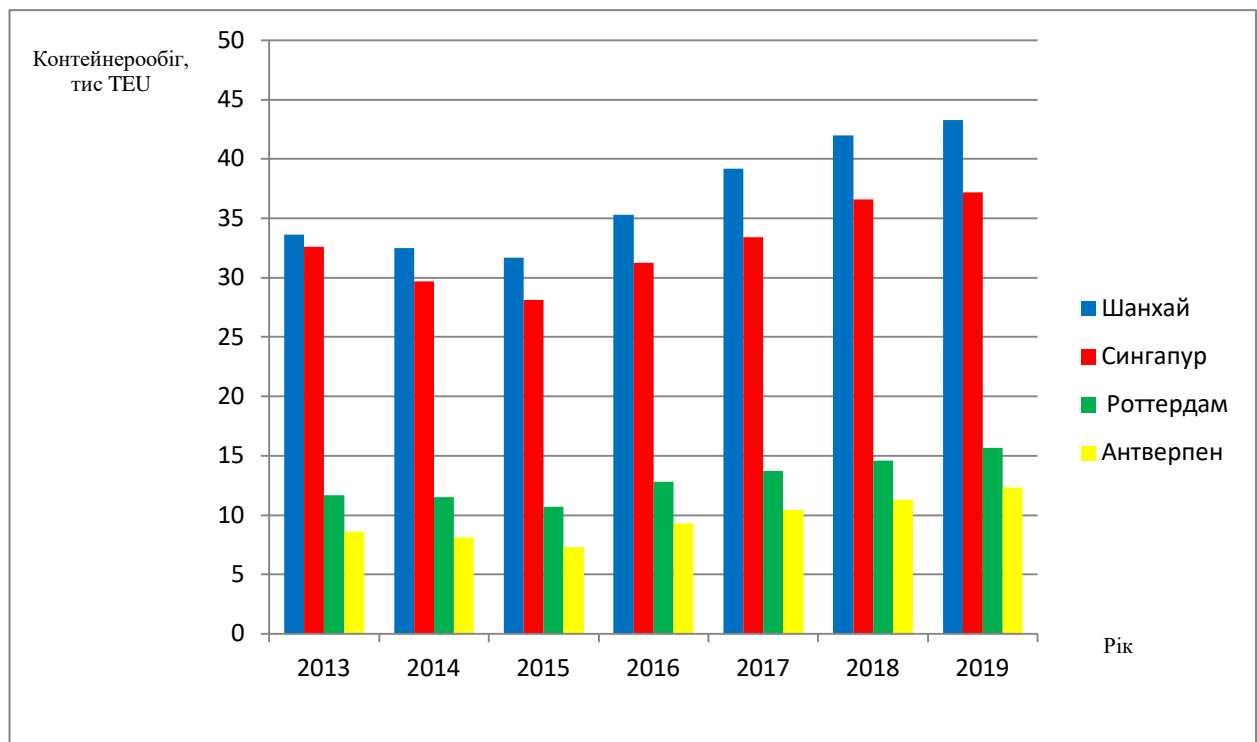


Рисунок 2.5 – Контейнерообіг найбільших портів світу

На рисунку 2.6 наведено діаграму, що показує контейнерообіг в портах Чорноморських країн

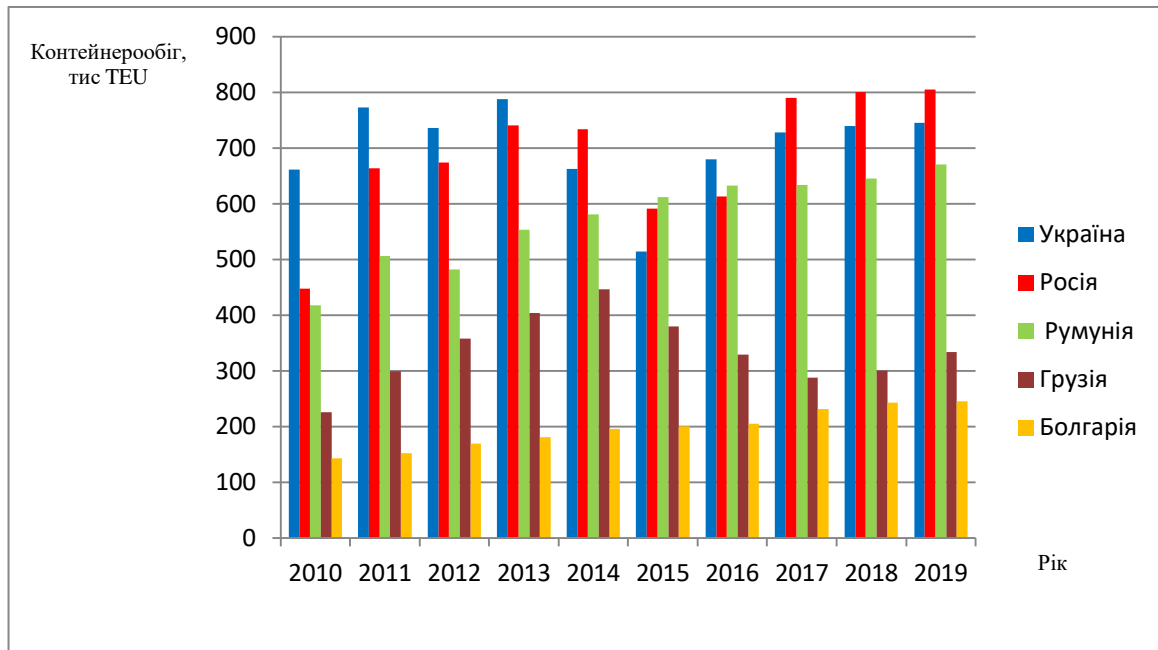


Рисунок 2.6 – Контейнерообіг в портах Чорноморських країн (без транshipmenta)

Як бачимо з наведених діаграм контейнерообіг має стабільний характер. Не дивлячись на спад контейнерообігу у 2014-2015 р.р., вже у 2019 році контейнерообіг вийшов на рівень 2012 року.

Таким чином, контейнерообіг України має тенденцію до зростання, і є вище, ніж у країн-сусідів.

2.2 Аналіз методів прогнозування обсягів перевезення вантажів

Одним з основних завдань залізничного транспорту є забезпечення своєчасного задоволення потреби в перевезенні. Залізничний транспорт України, не дивлячи на зниження обсягів транспортного потоку в останній час, залишається перспективним, постійно діючим та надійним видом транспорту. На оптимальне планування роботи залізничного транспорту має вплив прогнозні обсяги вантажопотоків за напрямками перевезення.

Прогнозування обсягів вантажопотоків є важливим інструментом при прийнятті управлінських рішень, виборі оптимального варіанту доставляння вантажу та технології перевезення, стратегії розвитку галузі. Прогнозування – це передбачення майбутнього на підставі накопиченого досвіду і поточних припущень щодо нього. Прогнозування являє собою складний процес, по ходу якого необхідно вирішувати велику кількість різних питань. Для цього слід застосовувати в поєднанні різні методи прогнозування, яких на сьогоднішній день існує велика кількість, але на практиці використовуються лише 15-20. Для адекватного прогнозування необхідно обрати метод прогнозування.

Метод прогнозування – сукупність прийомів мислення, що дають змогу на основі аналізу минулих (ретроспективних) зовнішніх і внутрішніх зв'язків, властивих об'єкту, а також їх змін у рамках даного явища винести думку певної достовірності щодо майбутнього розвитку об'єкта. Обрання відповідного методу прогнозування дає змогу знизити витрати залізничного транспорту.

Практика більшості методів прогнозування базується на одному з двох протилежних підходів: генетичному і цільовому (нормативному). При генетичному підході до прогнозування попиту за базис береться справжній рівень його розвитку, тобто майбутнє визначається на основі стану попиту у звітному періоді. Цьому підходу більшою мірою властиві інерційність і перенесення недоліків, що були у минулому [92].

Цільовий, або нормативний підхід до прогнозування побудований на визначенні провідних цілей і орієнтирів і розробленні шляхів переходу від

рівня розвитку, що склався, до бажаного. Мета задається у вигляді науково обґрунтованих норм. Вони розглядаються як результат, який має бути досягнутий у перспективі. Розробка параметрів прогнозу для певного етапу цієї перспективи виступає як проміжна мета майбутнього, як варіант економічної політики [93].

На сьогоднішній день існує багато моделей прогнозування часових рядів. Для підвищення точності прогнозів обсягів вантажопотоків важливо розуміти, що різні моделі прогнозування підходять для різних часових рядів з різними характеристиками, тому виникає необхідність у підборі такого методу, що дасть адекватний прогноз вантажопотоків при залізничних перевезеннях.

Всі методи прогнозування можна розділити на два основні класи: евристичний і математичний [93]. Евристичні методи засновані на використанні думки фахівців у цій галузі знань і, як правило, застосовуються для прогнозування процесів, складних для математичного опису. Щоб отримати достатньо хороші для застосування на практиці результати прогнозування на основі використання думки експертів, необхідно вирішити ряд проблем, пов'язаних з організацією опитувань, підбором експертів і обробкою отриманих результатів. Цей метод рекомендується застосовувати, якщо відсутні чисельні показники прогнозованого параметру за розглянутий період.

Суть методу експертних оцінок полягає в тому, що в основі прогнозу лежить думка одного фахівця або групи фахівців, яке засноване на професійному, практичному і науковому досвіді. Думка фахівців дає можливість виявити можливі напрями розвитку в тих або інших галузях науки і техніки в майбутньому, передбачити час настання деяких економічних подій, змін у поведінці споживачів, з'ясувати їх реакцію на нові товари і послуги, методи обслуговування тощо. Найчастіше експертні методи використовуються для отримання оцінок тих параметрів, щодо яких немає достатньо достовірної інформації. До них вдаються, коли проблема детально не досліджена і немає чітко позначених зв'язків прогнозованого явища з головними факторами його

розвитку в перспективі, коли відомості про ці фактори приблизні. У такій ситуації виключена можливість підходу до розроблення прогнозу на основі використання формальних методів прогнозування, оскільки адекватно описати досліджуваний процес важко [93].

Експерт – кваліфікований фахівець, який притягається для формування оцінок відносно об'єкта прогнозування. Експертна група – колектив експертів, сформований за певними правилами. Судження експерта або експертної групи щодо поставленого завдання прогнозу називається експертною оцінкою; в першому випадку використовується термін «індивідуальна експертна (прогнозна) оцінка», а в другому – «колективна експертна (прогнозна) оцінка». Здатність експерта створювати на базі професійних знань, інтуїції і досвіду достовірні оцінки щодо об'єкта прогнозування характеризує його компетентність. Остання має кількісну міру, яка називається коефіцієнтом компетентності. Те ж справедливо і по відношенню до експертної групи: компетентність експертної групи – це її здатність створювати достовірні оцінки щодо об'єкта прогнозування, адекватні думку генеральної сукупності експертів; кількісна міра компетентності експертної групи визначається на основі узагальнення коефіцієнтів компетентності окремих експертів, що входять в групу.

Одним з найвідоміших методів експертних оцінок є метод Дельфі, що ґрунтується на наступних правилах: опитування експертів проводиться в кілька етапів; відповіді даються в кількісній формі; після статистичної обробки результатів кожний експерт знайомиться з оцінками інших експертів; відповіді повинні супроводжуватися обґрунтуваннями [94].

Робота експертів за методом Дельфі будується за наступним алгоритмом:

- формулювання завдання;
- виявлення думки кожного експерта;
- виявлення переважної думки;
- виявлення крайніх суджень;
- формулювання принципових розбіжностей між експертами;

- дослідження причин розбіжностей в думках;
- доведення до всіх експертів, що беруть участь в експертизі, результатів, виданих кожним експертом, і результатів обробки думок;
- аналіз кожним експертом зазначених вище результатів і переоцінка своєї первісної думки (або збереження його в силі);
- виявлення переважної думки.

Однак цей метод є суб'єктивним та не досить достовірним.

Математичні методи прогнозування, залежно від виду математичного опису об'єктів прогнозування і способів визначення невідомих параметрів моделі, можна умовно поділити на методи моделювання процесів розвитку, екстраполяційні (статистичні) методи і імовірнісні методи.

До першої групи належать методи, які використовують для опису моделі прогнозованого процесу диференціальні рівняння. Завдання прогнозування зводиться до рішення диференціальних рівнянь для заданого моменту часу. Прогнозування на основі моделювання процесів розвитку можна успішно використовувати в тому випадку, якщо прогнозований процес добре вивчений і є його коректний математичний опис.

Екстраполяційний (статистичний) метод є одним з найпоширеніших методів прогнозування, коли тенденція розвитку процесу, яка спостерігається в минулому, продовжується на майбутнє [95].

Основна ідея методу наукової екстраполяції – вивчення сформованих як в минулому, так і сьогодні стійких тенденцій розвитку підприємства та перенесення їх на майбутнє. Розрізняють прогнозу і формальну екстраполяцію. Формальна – ґрунтується на припущенні про те, що в майбутньому збережуться минулі і справжні тенденції розвитку підприємства; при прогнозній – справжній розвиток пов'язують з гіпотезами про динаміку підприємства з урахуванням того, що в майбутньому зміниться вплив на нього різних факторів. Проте чим більш тривалим є період прогнозування, тобто чим далі майбутнє буде відсунуто від минулого і сьогодні, тим меншою є упевненість у стійкості виявлених тенденцій і отже, тим, вище ймовірність

неточності прогнозу. Однак прогнозування з використанням екстраполяції ефективно переважно при розробленні поточних і короткострокових прогнозів.

Екстраполяція – це метод наукового дослідження, який заснований на поширенні минулих і справжніх тенденцій, закономірностей, зв'язків на майбутній розвиток об'єкта прогнозування. До методів екстраполяції відносяться метод найменших квадратів, метод експоненціального згладжування, метод ковзної середньої [94].

Суть методу найменших квадратів полягає в мінімізації суми квадратичних відхилень між що спостерігаються і розрахунковими величинами. Розрахункові величини знаходяться по підібраному рівняння – рівняння регресії. Чим менше відстань між фактичними значеннями і розрахунковими, тим точніший прогноз, побудований на основі рівняння регресії.

Теоретичний аналіз сутності досліджуваного явища, зміна якого відображається тимчасовим поруч, служить основою для вибору кривої. Іноді беруться до уваги міркування про характер росту рівнів ряду. Так, якщо зростання випуску продукції очікується в арифметичній прогресії, то згладжування проводиться по прямій. Якщо ж виявляється, що зростання йде в геометричній прогресії, то згладжування треба виробляти по показовою функції.

Робоча формула методу найменших квадратів має такий вигляд

$$\lambda_{t+1} = \alpha f + \beta, \quad (2.1)$$

де $t + 1$ – це прогнозний період;

λ_{t+1} – це прогнозований показник;

α , β – коефіцієнти;

f – умовне позначення часу.

Розрахунок коефіцієнтів α , β здійснюється за такими формулами:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (y \cdot f) - \left(\sum_{i=1}^n f \cdot \sum_{i=1}^n y \right) / n}{\sum_{i=1}^n f^2 - \left(\sum_{i=1}^n f \right)^2 / n}, \quad (2.2)$$

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n f}{n} - \frac{\alpha \sum_{i=1}^n f}{n}, \quad (2.3)$$

де y – фактичне значення ряду динаміки;

n – число рівней часового ряду.

Згладжування часових рядів методом найменших квадратів служить для відображення закономірності розвитку досліджуваного явища. В аналітичному вираженні тренда час розглядається як незалежна змінна, а рівні ряду виступають як функція цієї незалежної змінної.

Розвиток явища залежить не від того, скільки років пройшло з відправного моменту, а від того, які фактори впливали на його розвиток, в якому напрямку і з якою інтенсивністю. Звідси ясно, що розвиток явища в часі виступає як результат дії цих факторів. Правильно встановити тип кривої, тип аналітичної залежності від часу – одна з найскладніших завдань передпрогнозного аналізу. Підбір виду функції, яка описує тренд, параметри якої визначаються методом найменших квадратів, виробляється в більшості випадків емпірично, шляхом побудови ряду функцій і порівняння їх між собою за величиною середньоквадратичної помилки.

Методи згладжування використовуються для зменшення впливу випадкового компонента (випадкових коливань) у часових рядах. Вони дають можливість отримувати більш “чисті” значення, які складаються лише з

детермінованих компонентів. Одним із методів, направлених на виділення деяких компонентів, наприклад, тренду [94].

Метод експоненціального згладжування найбільш ефективний при розробці середньострокових прогнозів. Він прийнятний при прогнозуванні тільки на один період вперед. Його основні переваги простота процедури обчислень і можливість обліку ваг вихідної інформації [94].

При прогнозуванні даним методом виникає два ускладнення:

- вибір значення параметра згладжування;
- визначення початкового значення.

За цим методом розрахункова формула має вигляд

$$\hat{\lambda}_{t+1} = k \cdot \lambda_t + (1 - k) \cdot \hat{\lambda}_t, \quad (2.4)$$

де $\hat{\lambda}_{t+1}$ – прогноз на наступний період $t + 1$;

λ_t – дані для прогнозу за поточний період t ;

k – коефіцієнт згладжування ряду, $0 < k < 1$;

$\hat{\lambda}_t$ – значення прогнозу на поточний період t .

Таким чином, якщо є впевненість, що початкові умови, на підставі яких розробляється прогноз, достовірні, слід використовувати невелику величину параметра згладжування k . Коли параметр згладжування малий, то досліджувана функція поводить себе як середня з великого числа минулих рівнів. Якщо немає достатньої впевненості в початкових умовах прогнозування, то слід використовувати велику величину k , що призведе до обліку при прогнозі в основному впливу останніх спостережень.

Відзначимо, що при вивченні економічних часових рядів і прогнозуванні економічних процесів метод експоненціального згладжування не завжди

«спрацьовує». Це обумовлено тим, що економічні часові ряди бувають дуже короткими (15-20 спостережень), і в разі, коли темпи зростання і приросту великі, даний метод не «встигає» відобразити всі зміни.

Враховуючи недоліки попередньо розглянутих методів прогнозування, в подальшому пропонується адаптивне згладжування, що дозволяє автоматично змінювати постійну згладжування в процесі обрахунку. Але такі моделі також призначені для короткострокових прогнозів. До адаптивних моделей відносяться: модель Брауна, модель Хольта, модель Хольта-Вінтерса.

Подвійне експоненціальне згладжування Брауна будується аналогічно експоненціальному згладжуванню, тільки процес згладжування робиться двічі. Метод використовується, коли дані часового ряду мають тренд.

Потрійне експоненціальне згладжування Брауна аналогічно двом попереднім, тільки згладжування проводиться тричі. Це дозволяє прогнозувати нестационарні часові ряди з великими перепадами мінімального та максимального значень. Хольт розвинув модель простого експоненціального згладжування і додав до неї тренд. Метод Хольта використовується для прогнозування часових рядів, коли є тенденція до зростання або падіння значень часового ряду [92].

Метод Хольта-Вінтерса враховує згладжений експоненціальний ряд з трендом і сезонністю. Перевагою даного методу є можливість зробити прогноз на тривалий період. Метод Хольта-Вінтерса використовується для прогнозування часових рядів, коли в структурі даних є сформований тренд і сезонність.

Метод ковзних середніх є одним з широко відомих методів згладжування часових рядів. Застосовуючи цей метод, можна елімінувати випадкові коливання і отримати значення, відповідні впливу головних чинників. Згладжування за допомогою ковзних середніх засноване на тому, що в середніх величинах взаємно погашаються випадкові відхилення. Це відбувається внаслідок заміни первинних рівнів часового ряду середньою арифметичною величиною всередині обраного інтервалу часу. Отримане значення відноситься

до середини обраного інтервалу часу (періоду). При згладжуванні часового ряду легкими середніми в розрахунках беруть участь всі рівні ряду. Чим ширше інтервал згладжування, тим більше плавним виходить тренд. Згладжений ряд коротше початкового на $(n-1)$ спостережень, де n – величина інтервалу згладжування.

При великих значеннях n коливання згладженого ряду значно знижується. Одночасно помітно скорочується кількість спостережень, що створює труднощі при використанні даного методу.

Вибір інтервалу згладжування залежить від цілей дослідження. При цьому слід керуватися тим, в який період часу відбувається дія, а отже, і усунення впливу випадкових факторів [92]. Даний метод використовується при короткостроковому прогнозуванні.

Серед всіх статистичних методів регресійний аналіз відіграє переважну роль у прогнозуванні. Використання регресійних рівнянь для передбачення значень різних показників має ґрунтуватися на пропозиції про збереження в майбутньому кількісних закономірностей, знайдених в результаті обробки минулих спостережень. У прогностичному рівнянні регресії, на відміну від звичайних регресійних залежностей, в число факторів-аргументів повинен входити в явній формі час.

Наступна проблема пов'язана з тим, що для оцінки значення прогнозованого показника необхідно знати прогнозовані значення факторів-аргументів, тобто точність прогнозу залежить не тільки від точності коефіцієнтів регресії, а й від надійності визначення значень факторів-аргументів в майбутньому часі. Зазначені особливості застосування регресійних рівнянь для прогнозування (екстраполірування, надійність передбачуваних значень факторів-аргументів) є причиною підвищеного ступеня невизначеності одержуваних результатів. Внаслідок цього доцільно визначати за допомогою регресійних залежностей не конкретні значення прогнозованого показника, а довірчий інтервал, в межах якого знаходяться

значення даного показника. Але це не дає можливості створити адекватну прогнозну модель [93].

Авторегресійна модель ковзного середнього в області аналізу часових рядів, що складається з моделі авторегресії (autoregressive, AR) і моделі ковзного середнього (moving average, MA), дуже часто використовується для прогнозування. Модель ARIMA (autoregression integrated moving average), яка запропонована Боксом і Дженкінсоном, включає параметри авторегресії і порядок різниці і параметри ковзного середнього. В основу авторегресійних моделей закладено припущення про те, що значення процесу лінійно залежить від кількості попередніх значень того ж самого процесу. Тоді як кращими сторонами даного класу моделей є їхня доступність та простота при моделюванні [96].

Еволюційні алгоритми є основою сучасних евристичних комп'ютерних технологій оптимізації, навчання, моделювання, проектування й управління у найширшому значенні цих понять. Еволюційні алгоритми ґрунтуються на глибокій аналогії між біологічним генетичним кодом і комп'ютерним двійковим кодом. Ця аналогія дає змогу формалізувати біологічний еволюційний процес і застосувати ідею про природний відбір для розв'язання найскладніших проблем у галузі природних і комп'ютерних наук, промисловості та бізнесу [97].

Під час побудови системи за допомогою еволюційного підходу основна увага зосереджена на побудові початкової моделі, і правилах, за якими вона може змінюватися (еволюціонувати). Серед еволюційних алгоритмів класичним вважається генетичний алгоритм.

Генетичний алгоритм – це еволюційний алгоритм пошуку, що використовується для вирішення задач оптимізації і моделювання шляхом послідовного підбору, комбінування і варіацій параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію.

Особливістю генетичного алгоритму є акцент на використання оператора «схрещення», який виконує операцію рекомбінацію рішень-кандидатів, роль

якої аналогічна ролі схрещення в живій природі. При цьому задача кодується так, щоб її розв'язання можна було подати у вигляді вектору-«хромосоми».

Випадково створюється деяка кількість початкових векторів («початкова популяція»). Вони оцінюються з використанням «функції пристосування», в результаті якої кожному вектору присвоюється певне значення («пристосованість»), яке визначає можливість виживання організму, що представлений цим вектором. Після цього до використання отриманих значень відбираються вектори, допущені до «схрещування». До цих векторів застосовуються «генетичні оператори» (в більшості випадків «схрещування» – crossover та «мутація» – mutation), створюючи так наступне «покоління».

Особини наступного покоління також оцінюються, згодом відбувається селекція, застосовуються генетичні оператори і т.п. Так моделюється «еволюційний процес», що продовжується декілька життєвих циклів (поколінь), поки не буде задоволено критерій зупинки алгоритму.

Генетичні алгоритми, що моделюють процеси природної еволюції, можуть знаходити розв'язання практично за повної відсутності припущень щодо характеру досліджуваної функції, й їх використовують для розв'язання таких комплексних та *NP*-задач, як: пошук глобального екстремуму багатопараметричної функції, апроксимації функції, знаходження найкоротшого шляху, розміщення, налаштування штучної нейронної мережі, ігрових стратегій, навчання машин. Фактично генетичні алгоритми максимізують багатопараметричні функції, тому їх галузь використання є досить широкою.

В даний час для прогнозування вантажних перевезень широкого розповсюдження набули штучні нейронні мережі, що являють собою мережу елементів – штучних нейронів, що пов'язані між собою синаптичними сполуками. Мережа обробляє вхідну інформацію і в процесі зміни свого стану в часі формує сукупність вихідних сигналів. Робота мережі полягає в перетворенні вхідних сигналів у часі, в результаті чого змінюється внутрішній стан мережі і формуються вихідні впливи [98].

Нейронні мережі дозволяють вирішувати завдання, з якими не можуть впоратися традиційні методи, вони здатні вирішувати завдання, спираючись на неповну, викривлену інформацію. Важливою перевагою використання нейронних мереж для обробки масивів даних є значне підвищення швидкодії процесу в порівнянні з традиційними математичними методами, можливість навчання нейронної мережі за еталонними зразками, а також зміна топології мережі (підбір вхідних параметрів, які гарантують отримання моделі найбільш високої точності), виходячи з вимог розв'язуваної задачі.

Успішність їх застосування заснована на поєднанні переваг нейронних мереж (можливість адаптивного самонавчання) на нечітких системах [98, 99] (простота лінгвістичної інтерпретації результату, що отриманий за їх допомогою).

Після того, як визначено кількість шарів і число елементів в кожному з них, мережу потрібно навчити [98], тобто визначити значення для ваг і порогів мережі, які мінімізували б помилку прогнозу, що видається мережею. Помилка для конкретної конфігурації мережі визначається шляхом прогону через мережу всіх наявних спостережень і порівняння вихідних значень, що реально видаються, із бажаними (цільовими) значеннями. По суті, процес навчання є підлаштування моделі, яка реалізується мережею, до наявних навчальних даних.

Отже, для якісного прогнозу необхідно використовувати якісно підготовлені дані, а також нейропакет з більшою функціональністю. Для роботи з нейромережами призначена велика кількість спеціалізованих програм, одні з яких більш універсальні, інші – вузькоспеціалізовані. Наприклад: Matlab – настільна лабораторія для математичних обчислень, проектування електричних схем і моделювання складних систем; Statistica – досить потужне забезпечення, що застосовується для пошуку та аналізу даних і виявлення статистичних закономірностей. Робота з нейромережами представлена в модулі Statistica Neural Networks, являє собою реалізацію всього набору нейромережових методів аналізу даних [100].

2.3 Прогнозування обсягів перевезення при виборі транспортної технології на основі фрактального аналізу

Прогнозування нестабільних та нечітких процесів є дуже ненадійним і малоефективним. Тому виявлення стійкості процесу є основним етапом аналізу. Для цього в роботі будемо застосовувати фрактальний аналіз.

Застосування положень систем масового обслуговування до задач визначення характеристик різних технологій перевезень має досить жорсткі обмеження і труднощі. Так процес збору даних відносно часу перебування транспортного засобу в різних станах характеризується високою трудомісткістю і вартістю, що ускладнює отримання необхідних за обсягом результатів спостережень. Крім того, падіння обсягів перевезень, зношення парку вагонів і локомотивів викликає необхідність значного збільшення тривалості випробувань, для отримання результатів з необхідним рівнем достовірності.

Особливо складно організувати випробування при визначенні параметрів ефективності транспортного засобу, коли в дослідній експлуатації знаходиться 1-2 транспортних засобів. Класичний підхід, що заснований на теорії великих чисел вже при довірчій ймовірності $q=0,95$ встановлює тривалість випробувань 36-48 місяців [101, 102]. Недостатність експериментальних вибірок створює принципові труднощі при статистичній обробці таких результатів і при інтерпретації обчислених показників. Крім того, класичні методи статистики обчислюються і піддаються ясній інтерпретації тільки в припущенні, що результати спостережень слідуєть відомому закону розподілу, а недостатність первинного матеріалу ускладнює або робить неможливим дати однозначну відповідь на питання – яким законом слідуєть отримані в експерименті дані. Класичні обчислювальні методи допускають втрату частини статистично значущої інформації, що міститься в експерименті, і, поряд з цим, вносять в значення одержуваних статистик нову інформацію, що не присутня в експерименті, а може бути, йому і чужа. Тому виникає необхідність у

застосуванні методів, відмінних від класичних. Один з таких методів – метод бутстрепа [101], що дозволяє будувати довірчий інтервал для вибіркового середнього.

В умовах неповноти інформації і складності отримання достовірних даних в роботі запропоновано провести розрахунки за допомогою «Bootstrap»-методу в системі «Statistica» в середовищі Windows, що дозволило змодельовати види законів розподілу станів системи [100]. Визначення необхідних параметрів статистичних розподілів часу надходження проведено в середовище QBAS за спеціально розробленою програмою. На рисунку 2.7 наведено вікно введення даних за допомогою «Bootstrap»-методу в системі «Statistica», на рисунку 2.8 – вікно результатів розрахунків у графічному вигляді за допомогою системи «Statistica» в середовищі Windows.

```

c:\F:\BOOTST~1\bas\QBASIC.EXE
File Edit View Search Run Debug Options Help
BOOTSTR.BAS
10 INPUT "ВВЕДИТЕ ЧИСЛО НАБЛЮДЕНИЙ ", N
20 INPUT "ВВЕДИТЕ ЧИСЛО БУТСТРЕП ПОВТОРОВ ", M
30 DIM A1(N)
40 DIM A2(N, M)
50 PRINT "ВВЕДИТЕ НАБЛЮДЕНИЯ"
60 FOR K = 0 TO N - 1
70 INPUT A1(K)
80 NEXT
90 S$ = ".txt"
100 LINE INPUT "ВВЕДИТЕ ИМЯ ФАЙЛА ДЛЯ ЗАПИСИ ", S1$
110 S2$ = S1$ + S$
120 PRINT S2$
130 OPEN "o", 1, S2$
140 FOR M = 0 TO M - 1
150 FOR N = 0 TO N - 1
160 U1 = INT(RND * (N + 1))
170 A2(N, M) = A1(U1)
180 NEXT
Immediate
<Shift+F1=Help> <F6=Window> <F2=Subs> <F5=Run> <F8=Step> | N 00001:001

```

Рисунок 2.7 – Вікно введення даних за допомогою «Bootstrap»-методу в системі «Statistica»

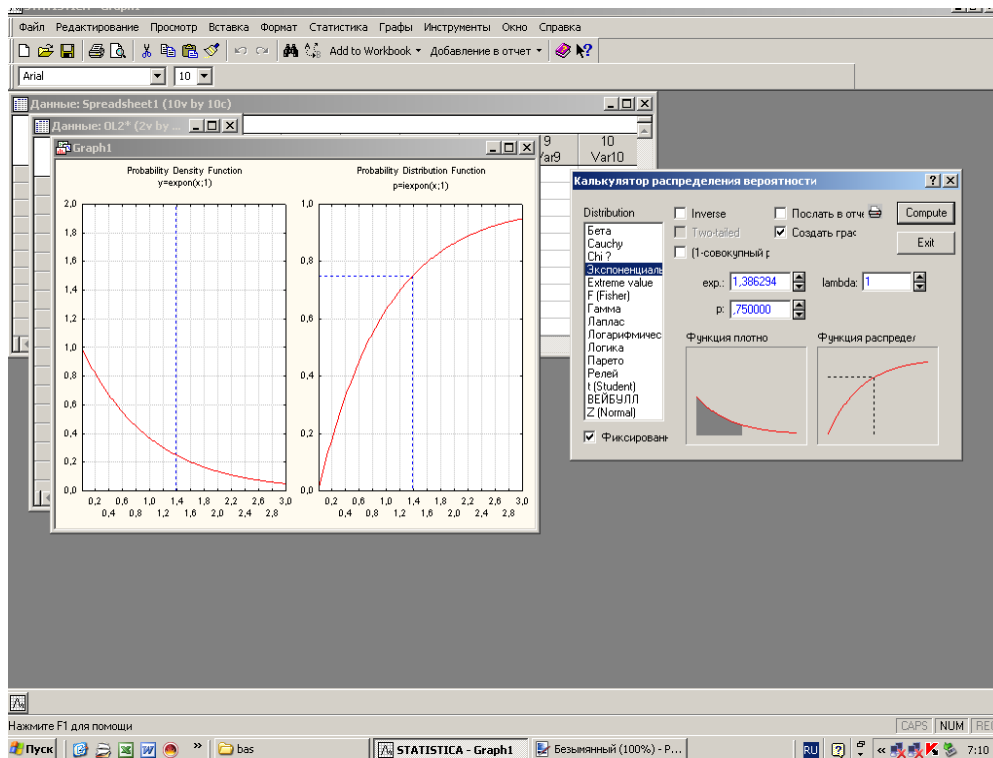


Рисунок 2.8 – Вікно результатів розрахунків у графічному вигляді за допомогою системи «Statistica» в середовищі Windows

У різноманітних транспортних системах одним з найважливіших завдань є забезпечення необхідної якості обслуговування перевезень. Одним з ефективних методів управління якістю перевезень є розподіл пропускну здатності каналів з використанням пріоритетів для різних потоків.

Так, у роботах [6, 28] удосконалено інтермодальну технологію перевезення вантажів, де розглянутий потік заявок є пуассонівським, але таке припущення повинне мати певні обмеження у використанні, особливо коли в системі передбачені пріоритети та зберігається нерівномірність надходження вантажів. Враховуючи інерційність залізничних перевезень та багатоваріантність доставки вантажів при інтермодальних перевезеннях, це може викликати завантаженість транспортної мережі. З цією метою у подальшому будемо враховувати фрактальність вхідного потоку заявок та знайдемо діапазон їх застосування.

Розглядаючи систему масового обслуговування з пріоритетами виходять з припущення про те, що вхідний потік є пуассонівським, що не підходить для фрактального потоку [103-105]. Отже, при розробці моделі системи масового обслуговування з пріоритетами необхідно враховувати фрактальність вхідного потоку заявок.

Для систем масового обслуговування, на вхід яких надходить пуассоновський потік вимог $(M/G/1)$, час очікування для потоку з пріоритетом $p(T_{оч_p})$ може бути визначено наступним виразом

$$T_{оч_p} = \frac{\overline{T_{зат}}}{(1 - \sigma_{p-1}) \cdot (1 - \sigma_p)}, \quad (2.5)$$

де $\overline{T_{зат}}$ – середня затримка вимоги, що пов'язана з наявністю іншої вимоги на обслуговуванні;

$\sigma_p = \sum_{i=p}^p p_i$ – коефіцієнт завантаження i -го пріоритетного класу вимог.

Величина цієї затримки визначається за формулою

$$\overline{T_{зат}} = \sum_{i=1}^p \overline{T_{зат_i}} = \sum_{i=1}^p p_i \cdot \frac{\sigma_{b_i}^2}{2 \cdot T_{обс_i}} = \sum_{i=1}^p \frac{\lambda_i \sigma_{b_i}^2}{2}, \quad (2.6)$$

де $\overline{T_{зат_i}}$ – середня затримка вимоги, що пов'язана з наявністю повідомлень i -го пріоритету;

$\overline{T_{обс_i}}$ – середній час обслуговування;

λ_i – інтенсивність надходжень вимог i -го пріоритетного класу, $\lambda_i = \frac{T_{обс_i}}{P_i}$;

p_i – коефіцієнт завантаження i -го пріоритетного класу вимог;

$\sigma_{b_i}^2$ – другий момент часу обслуговування (дисперсія) i -го пріоритетного класу вимог.

Аналіз цього виразу показує, що середня затримка вимог, що пов'язана з наявністю іншої вимоги на обслуговуванні, залежить від інтенсивності надходжень (λ_i) і від дисперсії часу обслуговування ($\sigma_{b_i}^2$). Вираз (2.6) отримано, виходячи з умови, що вхідний потік вимог пуассоновський, а потік обслуговування довільний. Щоб зняти обмеження розглянемо систему масового обслуговування ($G/G/1$).

Час очікування обслуговування $T_{оч_i}$ можна представити в наступному вигляді

$$T_{оч_i} = \frac{T_{зам}}{1-p} \quad (2.7)$$

З іншого боку верхню межу часу очікування $T_{оч_i}$ для системи ($G/G/1$) можна представити у вигляді наступного виразу [103-105]

$$T_{оч_i} \leq \frac{\sigma_{a_i}^2 + \sigma_{\epsilon_i}^2}{2 \cdot \overline{T_{пост_i}} (1-p_i)} = T_i^{max_1}, \quad (2.8)$$

де $\sigma_{a_i}^2$, $\sigma_{\epsilon_i}^2$ – дисперсія відповідно вхідного потоку і потоку обслуговування;

$\overline{T_{пост_i}}$ – середнє значення інтервалу часу між вхідними заявками i -го пріоритету;

p_i – коефіцієнт завантаження для системи ($G/G/1$), $p_i = \frac{\overline{T_{обс}}}{\overline{T_{пост_i}}}$.

Верхня гранична оцінка (2.8) виявляється тим більш точною, чим більше величина коефіцієнта завантаження p_i . Зі співвідношення (2.7) також видно, що середній час очікування визначається флуктуаціями процесів надходження вимог та обслуговування.

Можна використовувати більш сувору формулу верхньої межі

$$T_{оч_i} \leq \frac{1 + C_{\epsilon_i}^2}{\left(\frac{1}{p_i}\right)^2 + C_{\epsilon_i}^2} \left[\frac{\sigma_{a_i}^2 + \sigma_{b_i}^2}{2 \cdot T_{ном_i} (1 - p_i)} \right] = T_i^{\max_2} \quad (2.9)$$

де C_b – коефіцієнт варіації часу обслуговування, $C_b = \frac{\sigma_{b_i}}{T_{обс_i}}$.

Отримана верхня межа по суті не залежить від закону розподілу вхідного і вихідного потоків. Вона визначається тільки першими двома моментами розподілів проміжків між вимогами і часу обслуговування.

Для знаходження нижньої межі затримки можна використовувати наступний вираз

$$T_{оч_i} \geq \frac{p_i^2 \cdot C_{\epsilon_i}^2 + p_i(p_i - 2)}{2 \cdot \lambda_i(1 - p_i)} = T_i^{\min} \quad (2.10)$$

Тоді, підставивши у вираз (2.6) значення часу очікування (вирази (2.8) – (2.10)), можна отримати наступні вирази середньої затримки.

$$T_{зат_i}^{\max_1} = \frac{\sigma_{a_i}^2 + \sigma_{b_i}^2}{2 \cdot T_{ном_i}}, \quad (2.11)$$

$$T_{зат_i}^{\max_1} = \frac{1 + C_{\epsilon_i}^2}{\left(\frac{1}{p_i}\right)^2 + C_{\epsilon_i}^2} \left[\frac{\sigma_{a_i}^2 + \sigma_{b_i}^2}{2 \cdot T_{пост_i}} \right], \quad (2.12)$$

$$T_{зат_i}^{\min} = \frac{p_i^2 \cdot C_{\epsilon_i}^2 + p_i \cdot (p_i - 2)}{2 \cdot \lambda_i}. \quad (2.13)$$

Для аналізу часу затримки в системі $(G/G/1)$ з пріоритетами необхідно провести дослідження різних законів розподілу, які використовуються для опису фрактального трафіку.

Для моделювання фрактального трафіку використовують розподіл Парето, Вейбулла, логонормальний і гіперекспоненціальний розподіл. У таблиці 2.1 наведені основні характеристики зазначених вище запропонованих розподілів.

Таблиця 2.1 – Основні характеристики розподілів

Назва розподілів	Функція розподілу	Математичне очікування	Дисперсія
Парето	$F(x) = 1 - \left(\frac{x_m}{x}\right)^k$	$\mu = \frac{a \cdot b}{a-1}, \text{ при } a < 1$ математичне очікування не існує	$\sigma^2 = \frac{a \cdot b^2}{(a-1) \cdot (a-2)},$ $a < 2$ дисперсія не існує
Вейбулла	$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$	$\mu = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$	$\sigma^2 = \frac{\beta^2}{\alpha} \cdot \left\{ 2 \cdot \Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) - \frac{1}{\alpha} \left[\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right) \right]^2 \right\}$
Логонормальний	$F(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \operatorname{Erf} \left[\frac{\ln(x) - \mu}{\sigma \sqrt{2}} \right]$	$\mu = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}}$	$\sigma^2 = e^{\sigma^2 + 2\mu} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$
Гамма-розподіл	$F(x) = \frac{\gamma(k, x/\theta)}{\Gamma(k)}$	$\mu = \alpha \cdot \beta$	$\sigma^2 = \alpha \cdot \beta^2$

Доволі часто для моделювання фрактального трафіку використовується розподіл Парето. Перевагою такого розподілу є можливість визначення фрактальності трафіка за параметрами розподілу. Недоліком цього розподілу є те, що воно має нескінченну дисперсію, що означає високу мінливість вхідного трафіку.

Отже, використовувати цей розподіл в даному випадку не можна. Найбільш часто використовується при моделюванні фрактального трафіку розподіл Вейбулла. Закон розподілу ймовірностей для розподілу Вейбулла має вигляд [103-105]

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}, \quad (2.14)$$

де β , α – відповідно масштабний параметр і параметр форми.

Для математичного очікування та середнього квадратичного відхилення величини справедливі формули, що табульовані

$$t_{cp} = aK_b, \quad \sigma(t) = aC_b, \quad K_b = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right), \quad C_b^2 = \Gamma\left(1 + \frac{2}{b}\right) - K_b^2. \quad (2.15)$$

Звідси для коефіцієнта варіації маємо

$$\nu(t) = \frac{\sigma(t)}{t_{cp}} = \frac{C_b}{K_b}. \quad (2.16)$$

У роботах [105, 106] показано, що моделі трафіку з довготривалою залежністю призводять до асимптотичного розподілу ймовірностей хвостів вейбулловського типу, тобто

$$P(x > B) \sim e^{-\gamma B^{2-2H}} \text{ при } B \rightarrow \infty, \quad (2.17)$$

де γ – константа;

$P(x > B)$ – ймовірність того, що параметр x (наприклад, довжина черги) більше параметра B ;

H – параметр Херста (параметр самоподібності).

Параметр Херста H являє собою міру стійкості статистичного явища, або міру тривалості довгострокової залежності. Значення $H = 0,5$ вказує на відсутність довгострокової залежності. Чим ближче значення H до 1, тим вище ступінь стійкості довгостроковій залежності.

Параметр Херста для більшості додатків знаходиться в інтервалі $0,5 < H < 1$ [107, 108]. З виразу (2.14), (2.17) можна визначити, що параметр α розподілу Вейбулла можна виразити через параметр Херста наступним чином: $\alpha = 2 - 2H$.

Отже, при дослідженні системи масового обслуговування $(G/G/1)$ з пріоритетами і фрактальним вхідним трафіком, параметр α розподілу Вейбулла буде перебувати в інтервалі $0 < \alpha < 1$. Інші закони розподілу в визначеному діапазоні співпадають з розподілом Вейбулла.

Відповідно до цього для систем масового обслуговування, на вхід яких надходить пуассоновській потік вимог $(M/G/1)$, час очікування для потоку з пріоритетом $p(T_{оч_p})$ розраховується по формулі

$$T_{оч_p} = \frac{\overline{T_{зам}}}{(1 - \sigma_{p-1}) \cdot (1 - \sigma_p)} = \frac{\sum_{i=1}^{p-1} p_i \cdot \sigma_{b_i}^2}{2\overline{T_{обс_i}} \cdot (1 - p_i) \left(1 - \sum p_i\right)} \quad (2.18)$$

Вихідні дані для визначення параметрів фрактальності вхідного потоку приведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку відносного часу очікування і обслуговування для систем $M/G/1$ та $G/G/1$ з пріоритетами

N	$T_{обс1}$	$T_{ном1}$	$T_{обс2}$	$T_{ном2}$	$T_{обс3}$	$T_{ном3}$	$T_{обс4}$	$T_{ном4}$	$T_{обс5}$	$T_{ном5}$
	$p=1$		$p=2$		$p=3$		$p=4$		$p=5$	
1	3	50	4	20	3	10	2,5	30	2,5	50
2	4	10	4	10	2,5	20	3,5	35	3	30
3	5	30	5	15	3	15	5	40	5	40
4	4	40	4	30	3	12	3	35	3	15
5	6	25	5	20	3,5	18	6	50	4	10
6	3	30	2	25	2,5	14	3	55	3,5	20
7	2	40	4	30	3	17	5	40	3,5	15
8	2	20	3	40	4	10	3,5	35	3	30
9	4	10	4	30	4	20	3	45	2	25
10	3	20	5	25	3	15	4	20	3	20
\square	36	275	40	245	31,5	151	38,5	385	32,5	255
$\square/10$	3,6	27,5	4	24,5	3,15	15,1	3,85	38,5	3,25	25,5
σ	1,44	156,2 5	0,8	67,25	0,252 5	12,29	1,152 5	90,25	0,612 5	137,2 5
Λ		0,036 4		0,040 8		0,066 2		0,026 0		0,039 2

Визначення співвідношення $\frac{T_{оч}}{T_{обс}}$ при різних P_i наведені таким чином

При $P_1 = 1$;

$$\frac{T_{оч1}}{T_{обс1}} = \frac{p_i \left[\frac{0,8}{4} + \frac{0,25}{3,15} + \frac{1,15}{3,85} + \frac{0,61}{3,25} \right]}{2 \cdot (1 - p_i) [1 - (0,13 + 0,16 + 0,21 + 0,1 + 0,129)] \cdot 3,6} = \frac{0,392 p_i}{1 - p_i}$$

При $P_2 = 2$;

$$\frac{T_{оч_2}}{T_{обс_2}} = \frac{p_i \left[\frac{1,44}{3,6} + \frac{0,25}{3,15} + \frac{1,15}{3,85} + \frac{0,61}{3,25} \right]}{2 \cdot (1 - p_i) [1 - (0,13 + 0,16 + 0,21 + 0,1 + 0,129)]} \cdot 4 = \frac{0,446 p_i}{1 - p_i}$$

При $P_3 = 3$;

$$\frac{T_{оч_3}}{T_{обс_3}} = \frac{p_i \left[\frac{1,44}{3,6} + \frac{0,8}{4} + \frac{1,15}{3,85} + \frac{0,61}{3,25} \right]}{2 \cdot (1 - p_i) [1 - (0,13 + 0,16 + 0,21 + 0,1 + 0,129)]} \cdot 3,15 = \frac{0,637 p_i}{1 - p_i}$$

При $P_4 = 4$;

$$\frac{T_{оч_4}}{T_{обс_4}} = \frac{p_i \left[\frac{1,44}{3,6} + \frac{0,8}{4} + \frac{0,25}{3,15} + \frac{0,61}{3,25} \right]}{2 \cdot (1 - p_i) [1 - (0,13 + 0,16 + 0,21 + 0,1 + 0,129)]} \cdot 3,85 = \frac{0,415 p_i}{1 - p_i}$$

При $P_5 = 5$;

$$\frac{T_{оч_5}}{T_{обс_5}} = \frac{p_i \left[\frac{1,44}{3,6} + \frac{0,8}{4} + \frac{0,25}{3,15} + \frac{1,15}{3,85} \right]}{2 \cdot (1 - p_i) [1 - (0,13 + 0,16 + 0,21 + 0,1 + 0,129)]} \cdot 3,25 = \frac{0,469 p_i}{1 - p_i}$$

Щоб зняти обмеження, розглянемо систему масового обслуговування $(G/G/1)$, тобто з фрактальністю вхідного потоку.

Час очікування $T_{оч_i}$ можна представити в наступному вигляді

$$T_{оч_i} = \frac{\sigma_{a_i}^2 + \sigma_{b_i}^2}{2 \cdot T_{ном_i} (1 - p_i)} \quad (2.19)$$

Спочатку використаємо дані, що наведені в табл. 2.2. Після проведених алгебраїчних перетворень

$$\text{При } P_1 = 1; \frac{T_{оч_1}}{T_{обс_1}} = \frac{156,25 + 1,44}{2 \cdot 27,5(1 - p_i) \cdot 3,6} = \frac{0,796}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_2 = 2; \frac{T_{оч_2}}{T_{обс_2}} = \frac{67,25 + 0,8}{2 \cdot 24,5(1 - p_i) \cdot 4} = \frac{0,347}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_3 = 3; \frac{T_{оч_3}}{T_{обс_3}} = \frac{12,29 + 0,25}{2 \cdot 15,1(1 - p_i) \cdot 3,15} = \frac{0,133}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_4 = 4; \frac{T_{оч_4}}{T_{обс_4}} = \frac{90,25 + 1,15}{2 \cdot 38,5(1 - p_i) \cdot 3,85} = \frac{0,308}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_5 = 5; \frac{T_{оч_5}}{T_{обс_5}} = \frac{137,25 + 0,61}{2 \cdot 25,5(1 - p_i) \cdot 3,25} = \frac{0,832}{1 - p_i}$$

Для моделювання фрактального потоку використовувався розподіл Вейбулла. Коефіцієнти для розподілу Вейбулла знайдемо згідно [108] при $a = 1$, $K_b = 1,00$, $C_b = 1,00$; при $a = 0,5$, $K_b = 2,00$, $C_b = 4,47$.

Відповідно до цих параметрів розподілу Вейбулла були визначені σ_{a_i} і σ_{b_i} (табл. 2.1), які використовувалися при визначенні $\frac{T_{оч_i}}{T_{обс_i}}$. З виразу (2.5), (2.6) можна визначити, що параметр α розподілу Вейбулла можна виразити через параметр Херста наступним чином: $\alpha = 2 - 2H$.

Тому для $H = 0,5$, $a = 1$, і при різних $P_i = 1$ значення $\frac{T_{оч_i}}{T_{обс_i}}$ визначено

ТАКИМ ЧИНОМ

$$\text{При } P_1 = 1; \frac{T_{оч_1}}{T_{обс_1}} = \frac{(26,2 \cdot 1)^2 + 1,44}{2 \cdot 27,5(1 - p_i) \cdot 3,6 \cdot 1} = \frac{3,474}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_2 = 1; \frac{T_{оч_2}}{T_{обс_2}} = \frac{(26,2 \cdot 1)^2 + 0,8}{2 \cdot 24,5(1 - p_i) \cdot 4 \cdot 1} = \frac{3,506}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_3 = 1; \frac{T_{оч_3}}{T_{обс_3}} = \frac{(26,2 \cdot 1)^2 + 0,25}{2 \cdot 15,1(1 - p_i) \cdot 3,15 \cdot 1} = \frac{7,218}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_4 = 1; \frac{T_{оч_4}}{T_{обс_4}} = \frac{(26,2 \cdot 1)^2 + 1,15}{2 \cdot 38,5(1 - p_i) \cdot 3,85 \cdot 1} = \frac{2,319}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_5 = 1; \frac{T_{оч_5}}{T_{обс_5}} = \frac{(26,2 \cdot 1)^2 + 0,61}{2 \cdot 25,5(1 - p_i) \cdot 3,25 \cdot 1} = \frac{4,145}{1 - p_i}$$

При $H = 0,75$, $a = 0,5$

$$\text{При } P_1 = 1; \frac{T_{оч_1}}{T_{обс_1}} = \frac{(26,2 \cdot 4,47)^2 + 1,44}{2 \cdot 27,5(1 - p_i) \cdot 3,6 \cdot 2} = \frac{34,639}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_2 = 1; \frac{T_{оч_2}}{T_{обс_2}} = \frac{(26,2 \cdot 4,47)^2 + 0,8}{2 \cdot 24,5(1 - p_i) \cdot 4 \cdot 2} = \frac{34,990}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_3 = 1; \frac{T_{оч_3}}{T_{обс_3}} = \frac{(26,2 \cdot 4,47)^2 + 0,25}{2 \cdot 15,1(1 - p_i) \cdot 3,15 \cdot 2} = \frac{72,090}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_4 = 1; \frac{T_{оч_4}}{T_{обс_4}} = \frac{(26,2 \cdot 4,47)^2 + 1,15}{2 \cdot 38,5(1 - p_i) \cdot 3,85 \cdot 2} = \frac{23,140}{1 - p_i}$$

$$\text{При } P_5 = 1; \frac{T_{оч_5}}{T_{обс_5}} = \frac{(26,2 \cdot 4,47)^2 + 0,61}{2 \cdot 25,5(1 - p_i) \cdot 3,25 \cdot 2} = \frac{41,380}{1 - p_i}$$

За допомогою програми MathCAD на ПЕОМ визначені і побудовані залежності $f(p_i) = \frac{T_{оч}}{T_{обс}}$ відносного часу очікування імовірності P_i для системи $M/G/1$ та системи $G/G/1$ з пріоритетами, що наведені на рисунках 2.9–2.12.

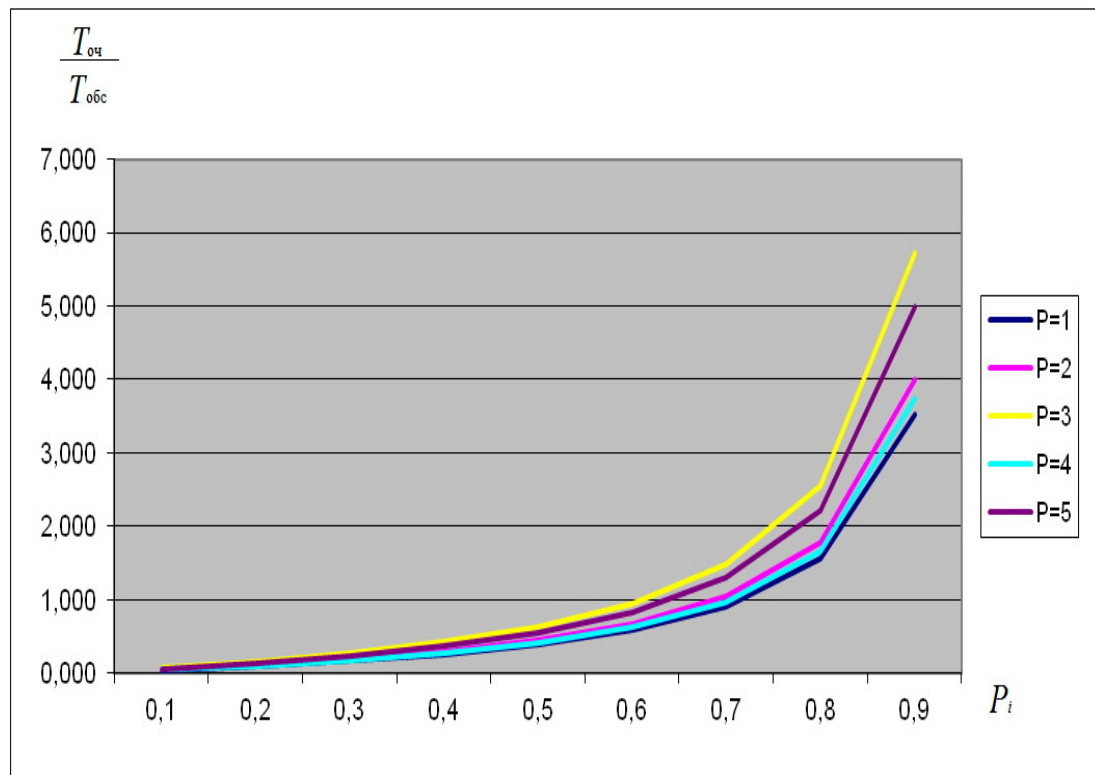


Рисунок 2.9 – Результати розрахунку для системи масового обслуговування $M/G/1$ з пріоритетами

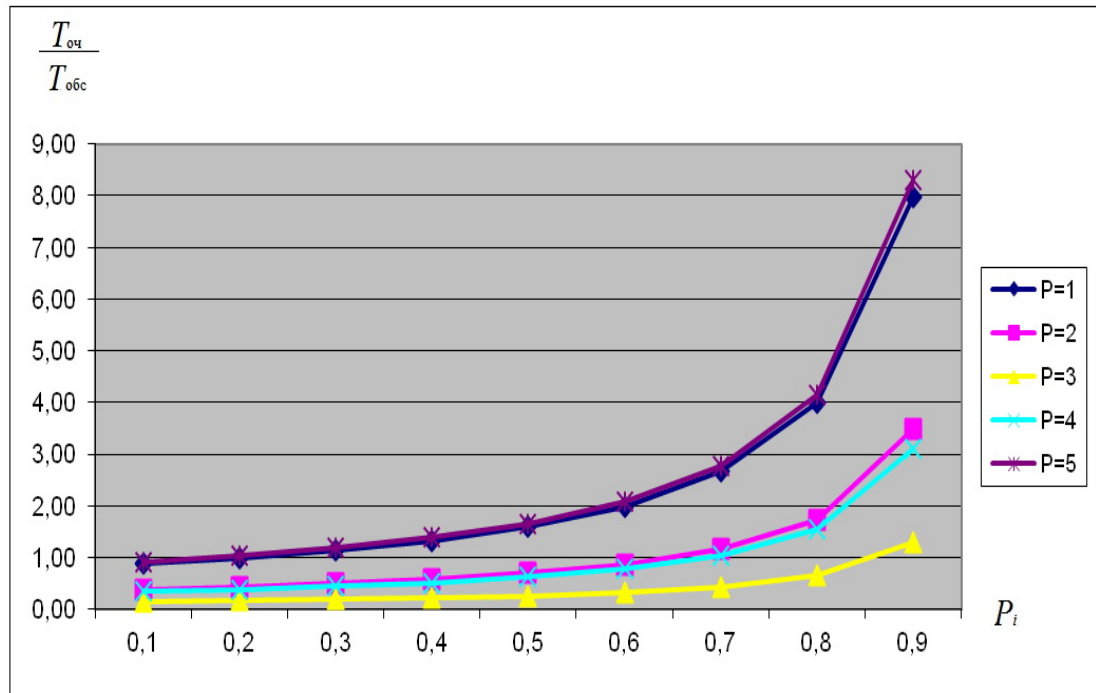


Рисунок 2.10 – Результати розрахунку для системи масового обслуговування $G/G/1$ з пріоритетами

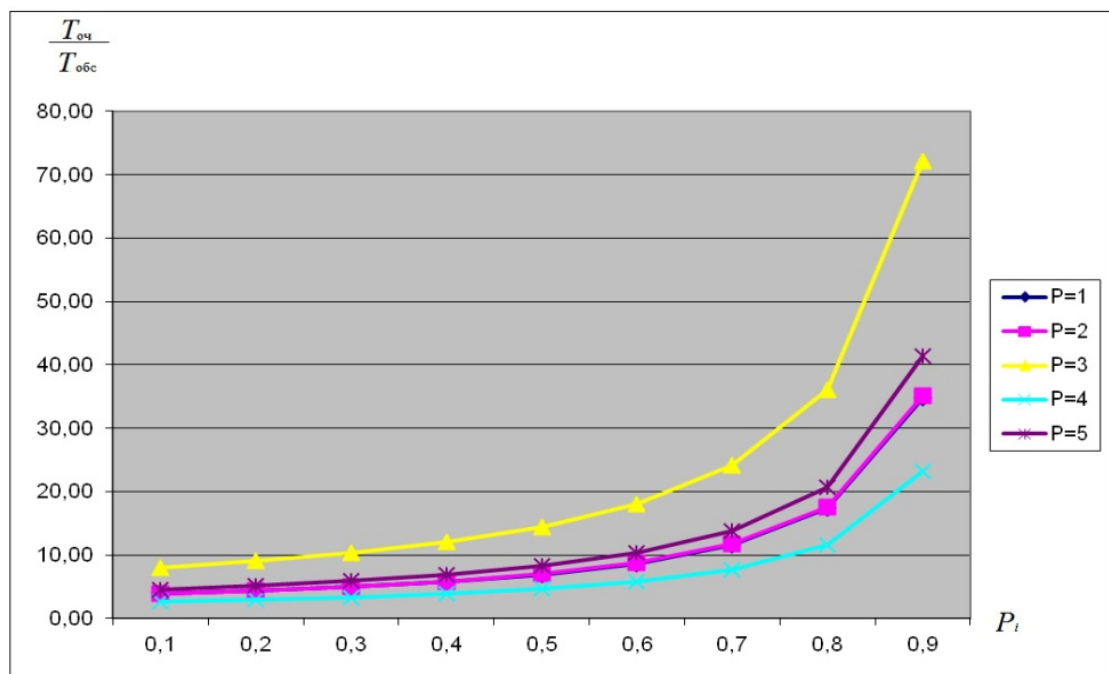


Рисунок 2.11 – Результати розрахунку для системи масового обслуговування $G/G/1$ з пріоритетами при $H = 0,5$

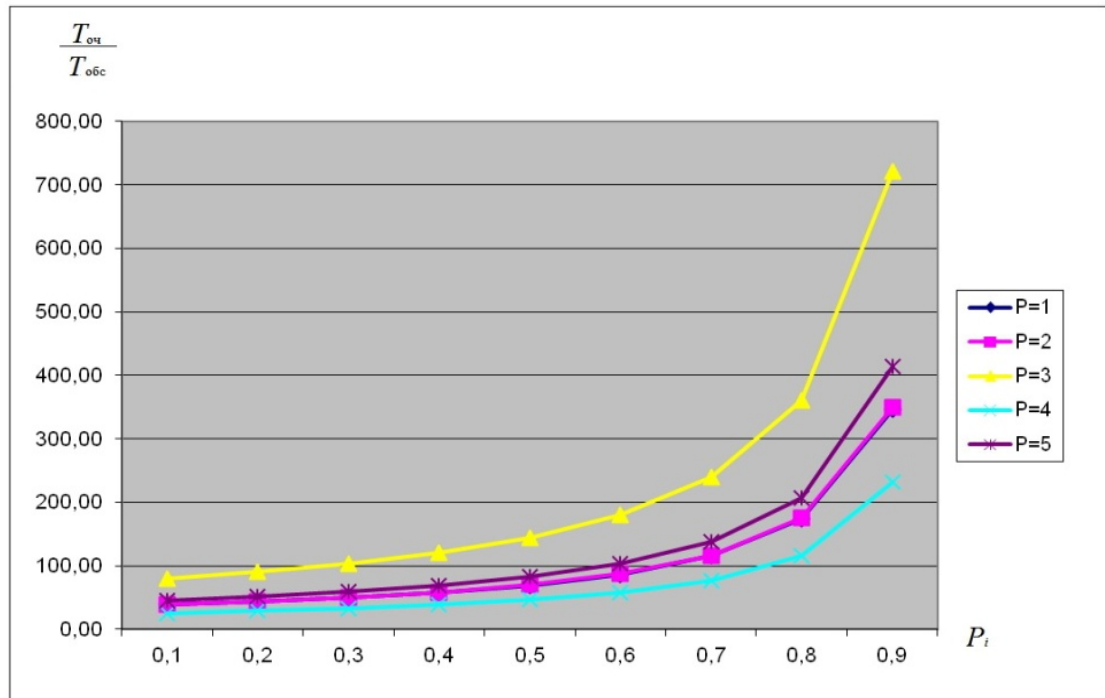


Рисунок 2.12 – Результати розрахунку для системи масового обслуговування $G/G/1$ з пріоритетами при $H = 0,75$

Таким чином, зі збільшенням самоподібності (фрактальності) вхідного потоку заявок значно збільшується час очікування роботи системи з пріоритетами у порівнянні з системою $M/G/1$ з пріоритетами. З отриманих результатів можна зробити наступні висновки, що при малих значеннях параметра Херста ($0,5 < H < 0,65$) у якості першого наближення системи $G/G/1$ з пріоритетами можна використовувати модель системи $M/G/1$. Причому точність результатів буде незначно падати з ростом P_i . При невеликих значеннях завантаження $H < 0,5$ отримані результати будуть практично збігатися. З ростом фрактальності трафіку результати, що отримані при використанні моделі $G/G/1$, будуть значно відрізнятися від результатів, отриманих при використанні моделі системи $M/G/1$. Отже, модель системи $M/G/1$ не можна використовувати для оцінки параметрів системи $G/G/1$ з пріоритетами в разі високої фрактальності вхідного трафіку. В даному випадку

доцільніше використовувати запропоновану модель системи $G/G/1$ з пріоритетами.

За результатами побудованих графічних залежностей $f(p_i) = \frac{T_{оч}}{T_{обс}}$ встановлено, що в діапазоні параметра Херста $0,5 < H < 0,65$ приблизно можна розраховувати параметри системи як для системи $M/G/1$ з пуассонівським потоком вимог [6], тоді як з ростом фрактальності вхідного потоку виникає необхідність у розгляданні системи обслуговування з пріоритетами у вигляді $G/G/1$ [9].

Отримана в результаті похибка прогнозу при використанні фрактального аналізу склала більше 7 % і не задовольнила умови завдання. Тому після детального аналізу методів прогнозу було прийнято рішення, що прогнозування обсягів перевезень на транспортній мережі необхідно виконувати з використанням нейро-нечіткого моделювання.

2.4 Розроблення моделі прогнозування обсягів перевезення вантажів на основі ANFIS-системи

Для розв'язання задач прогнозування краще зарекомендували себе обчислювальні технології в області «Soft computing» [109, 110]. Теоретичні основи методів прогнозування, що закладені дослідженнями в даній області, визначаються гнучким математичним апаратом, який здатний відобразити не тільки залежності, що не підлягають суворій формалізації, і взаємозв'язки тимчасових послідовностей, але й враховувати нечіткість та тимчасову істинність вхідної інформації. Виконання процесу прогнозування передбачає застосування методики здобуття знань з експериментальних даних на основі напрямку гібридизації нечітких систем, нейронних мереж і генетичних алгоритмів. Використання генетичних обчислень дозволяє спроектувати базу

правил на основі нечіткого висновку, яка є ядром прогнозуючої системи, з подальшим представленням її у вигляді графа нейро-нечіткої мережі, що має можливість налаштування змінних параметрів, тобто механізм навчання [111].

Виходячи з цього представляється можливим побудувати прогнозну модель планування кількості вагонів для подачі на під'їзні колії у вигляді системи на базі нечітких правил, тобто системи нечіткого виводу FIS (Fuzzy Inference System) [112, 113].

Вихід моделі буде представляти прогнозне значення кількості контейнерів за місяць на окремій транспортній системі. Входами моделі доцільно обрати фактори, що мають найбільший вплив на результат прогнозу. Такими факторами в рамках даних часового ряду є кількість контейнерів за місяць за останні кілька років. Ці дані дозволять моделі відслідковувати закономірності і характер коливань.

Вхідні параметри моделі пропонується представити у вигляді двох нечітких змінних, кожна з яких представляє кількість вагонів і розбита щонайменше на 3 терми: «мала», «середня» і «велика» (рисунок 2.13). Як зазначалось раніше, кількість вхідних змінних може бути збільшена у разі неритмічної роботи. Кількість термів також може бути більшою, це залежить від ширини діапазону даних.

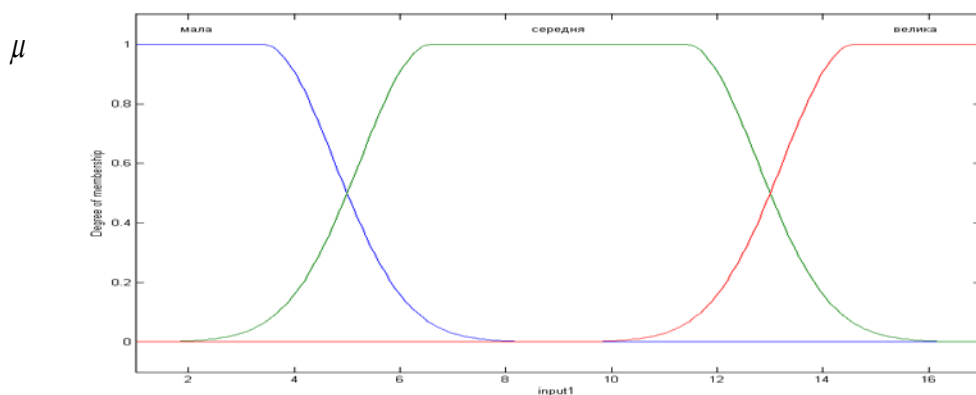


Рисунок 2.13 – Графічна інтерпретація функцій приналежності вхідних змінних запропонованої моделі, які представляють кількість контейнерів за попередній місяць до місяця прогнозу

Основним елементом моделі нечіткого логічного виводу є система правил. При невеликій кількості змінних такі правила може створити наприклад людина-експерт. Але така система буде неточною і не адаптивною по відношенню до даних. До того ж, для більш тонкого налаштування моделі у системах нечіткого виводу передбачено співставлення кожному правилу його ваги у межах $[0,1]$. Ці ваги також важко визначити експертним шляхом як і самі правила.

Тому пропонується створити систему правил методами отримання знань з даних за допомогою ЕОМ. Такі автоматизовані методи видобування знань в останній час набувають популярності у різних галузях промисловості розвинених країн для вирішення різноманітних технічних задач. Напрямок наукових досліджень, який орієнтований на розробку таких методів носить назву “data mining” і відноситься до галузі штучного інтелекту. Основним математичним апаратом, що використовується в “data mining” є нейронні мережі.

Нечіткі нейронні мережі або гібридні мережі покликані об'єднати в собі переваги нейронних мереж і систем нечіткого виводу. Вони дозволяють розробляти і подавати моделі систему у формі правил нечітких продукцій, а для побудови правил нечітких продукцій використовуються можливості нейронних мереж. ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System) – адаптивна мережа нечіткого виводу, запропонована Янгом (Jang), реалізована в пакеті розширення Fuzzy Logic Toolbox (пакеті нечіткої логіки) системи Matlab. ANFIS є одним з перших варіантів гібридних нейронечітких мереж, архітектура якої ізоморфна нечіткій базі знань. У нейронечітких мережах використовуються диференціальні реалізації трикутних норм, а також гладкі функції приналежності [114]. Системи з нечіткою логікою доцільно застосовувати для складних процесів, коли відсутня проста математична модель; якщо експертні знання про об'єкт або про процес можна сформулювати тільки в лінгвістичній формі. Для вирішення прикладних завдань найбільш часто використовуються трикутні, трапецеїдальні та «дзвоновидні» функції приналежності. З одного

боку, гібридна мережа являє собою багат шарову нейронну мережу спеціальної структури без зворотних зв'язків, у якій використовуються звичайні (не нечіткі) сигнали, ваги і функції активації, а виконання операції підсумовування, засноване на використанні фіксованої t -норми, t -конорми або деякої іншої безперервної операції. При цьому значення входів, виходів і ваг гібридної нейронної мережі являють собою дійсні числа з відрізка $[0,1]$. Існуюча вибірка даних використовується для визначення параметрів функцій приналежності, які найкраще відповідають деякій системі нечіткого виводу. При цьому для знаходження параметрів функцій належності використовуються відомі процедури навчання нейронних мереж. З іншого боку, гібридна мережа являє собою систему нечіткого виводу *fis* типу Сугено нульового або першого порядку, в якій кожне з правил нечітких продукцій має постійну вагу, яка дорівнює 1. Для вирішення задачі створення прогнозу обрано систему ANFIS. Для побудови такої моделі оберемо середовище Matlab [115].

Алгоритм функціонування нечіткої мережі ANFIS [115]:

Блок 1 – початок алгоритму.

Блок 2 – введення вхідних параметрів, а саме інформативних ознак об'єкта: x_1, x_2, \dots, x_n (періоди простою поїздів).

Блок 3 – визначення значень функції приналежності $\mu_{A_i}(x)$ при конкретних значеннях входів x_1, x_2, \dots, x_n , де A_i – нечітка змінна, асоційована з даним вузлом

$$\mu_{A_i}(x_i) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x_i - c_i}{\sigma_i} \right)^{2b_i}}, \quad (2.20)$$

де c_i , σ_i , b_i – параметри, які підлягають адаптації в процесі навчання системи.

Блок 4 – визначення ступеня істинності посилянь кожного j -го правила бази знань системи, шляхом виконання нечіткої логічної операції «AND» («min») на параметрах посилянь правил за формулою

$$W_j = \min\{\mu A_1(x_1), \mu A_2(x_2), \dots, \mu A_j(x_j)\}, \quad (2.21)$$

де W_j – ступінь істинності посилок кожного j -го правила бази правил;

$\mu A_j(x)$ – значення функції належності при конкретних значеннях входів x_1, x_2, \dots, x_j ;

k – кількість правил у базі правил (кількість правил нечіткого виводу залежить від кількості вхідних даних; чим більше вхідних даних, тим більше необхідно правил нечіткого виводу для того, щоб описати залежності між входами і виходом системи).

Блок 5 – розрахунок відносного ступеня виконання нечіткого правила за формулою

$$W_j^* = \frac{W_j}{\sum_{j=1}^k W_j}, \quad (2.22)$$

де W_j^* – відносний ступінь виконання j -го нечіткого правила;

W_j – ступінь істинності посилянь кожного j -го правила бази знань;

$\sum_{j=1}^k W_j$ – сума всіх ступенів істинності посилянь кожного j -го правила бази

правил.

Блок 6 – розрахунок внеску кожного нечіткого правила у вихід мережі за формулою

$$y_j = W_j^* \cdot v_j, \quad (2.23)$$

де y_j – внесок кожного нечіткого правила у вихід мережі;

W_j^* – відносний ступінь виконання j -го нечіткого правила;

v_j – чітке число, що задає висновок кожного j -го правила.

Блок 7 – визначення суми внесків усіх правил за формулою

$$y = \sum_{j=1}^k y_j, \quad (2.24)$$

де y – вихід мережі;

$\sum_{j=1}^k y_j$, – сумарний внесок всіх нечітких правил.

Блок 8 – кінець алгоритму.

Для автоматизованої побудови системи правил доцільно використати дані часового ряду про обсяги перевезення контейнерів за визначиний період на транспортній мережі. Максимальну кількість правил r , які можуть бути включені у систему, можна обчислити за формулою

$$r = \prod_{i=1}^n k(i) \quad (2.25)$$

де n – кількість вхідних змінних моделі;

$k(i)$ – кількість термів i -ої змінної.

Загальна структура нейро-нечіткої моделі ANFIS наведена на рисунку 2.14.

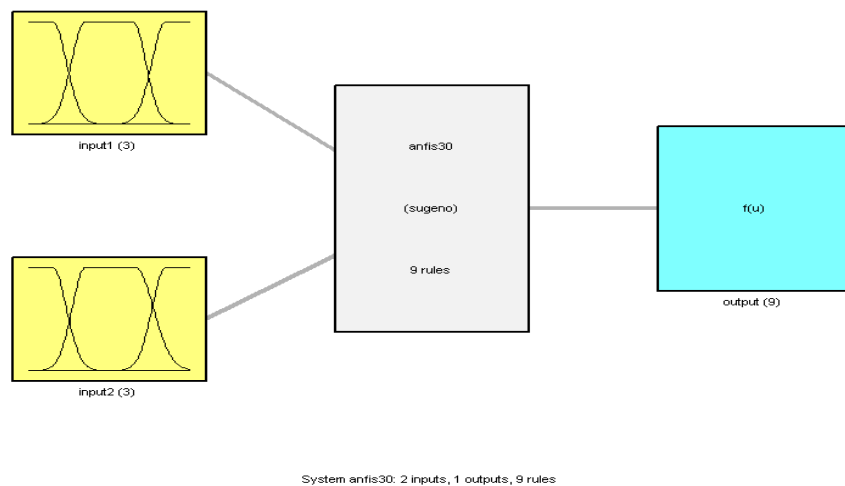


Рисунок 2.14 – Загальна структура нейро-нечіткої моделі ANFIS

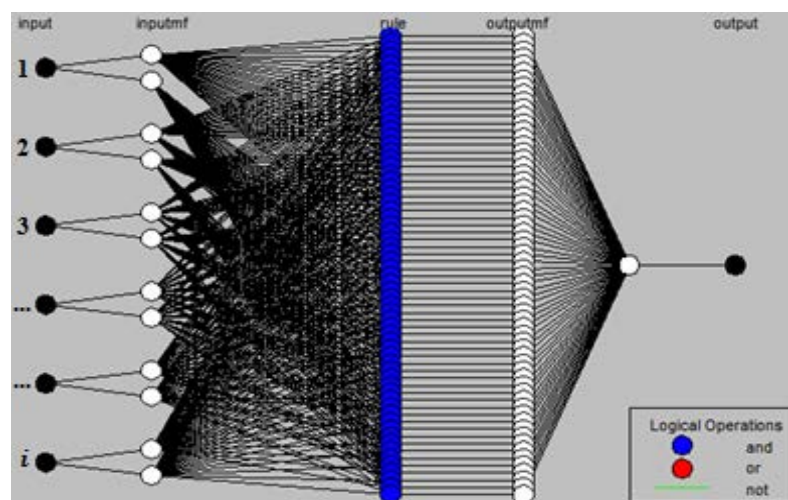


Рисунок 2.15 – Архітектура побудованої моделі на базі нейро-нечіткої ANFIS-системи

Архітектура створеної моделі (рисунок 2.15) складається із 5 шарів нейронів: перший шар містить нейрони, які представляють функції приналежності вхідних нечітких змінних і виконують операцію фазифікації (приведення до нечіткості) вхідних даних; другий шар містить нейрони, які зберігають вірні значення для правил, з яких складається база знань, що була

створена в результаті навчання моделі, ці нейрони можуть містити будь які варіанти реалізації операції t -норми, яка є нечітким аналогом логічної операції “AND”; нейрони третього шару містять результати обчислень правил з урахуванням ваги кожного правила; нейрони четвертого шару містять кінцеві результати обчислень правил, які згруповані у класи (нечіткі класи); п’ятий шар містить лише один нейрон, який обчислює кінцевий вихід моделі виконуючі операцію дефазифікації (приведення до чіткості) шляхом визначення центрів нечітких класів.

Тобто архітектура створеної моделі на базі ANFIS-системи є подібною до архітектури штучних нейронних мереж, основною відмінністю є те, що замість об’єднуючих операцій додавання і множення тут використовуються операції t -норма, t -конорма або деякі інші. Всі входи, виходи і ваги моделі представляють собою дійсні числа в інтервалі $[0;1]$. На рисунку 2.16 наведено функції приналежності вихідних змінних

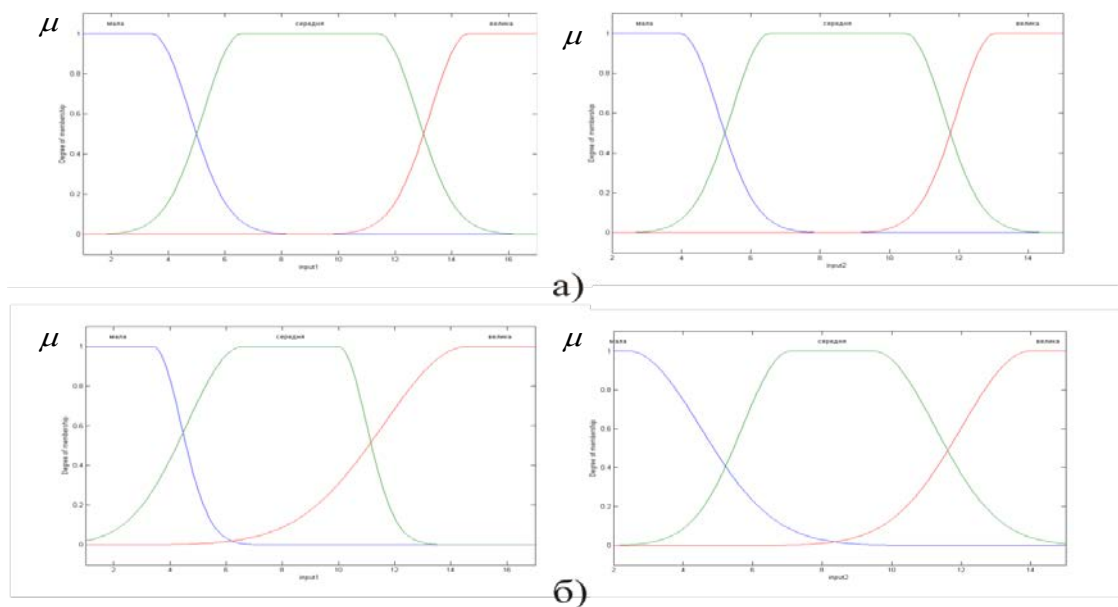


Рисунок 2.16 – Функції приналежності вихідних змінних: а) до навчання; б) після навчання

За допомогою програми Matlab виконано формування системи правил прогнозуючої моделі, оскільки в процесі навчання після 160 ітерацій похибка прогнозу не зменшується і становить $1,6 \times 10^{-3}$, то немає необхідності в подальшому навчанні моделі (рисунок 2.17).

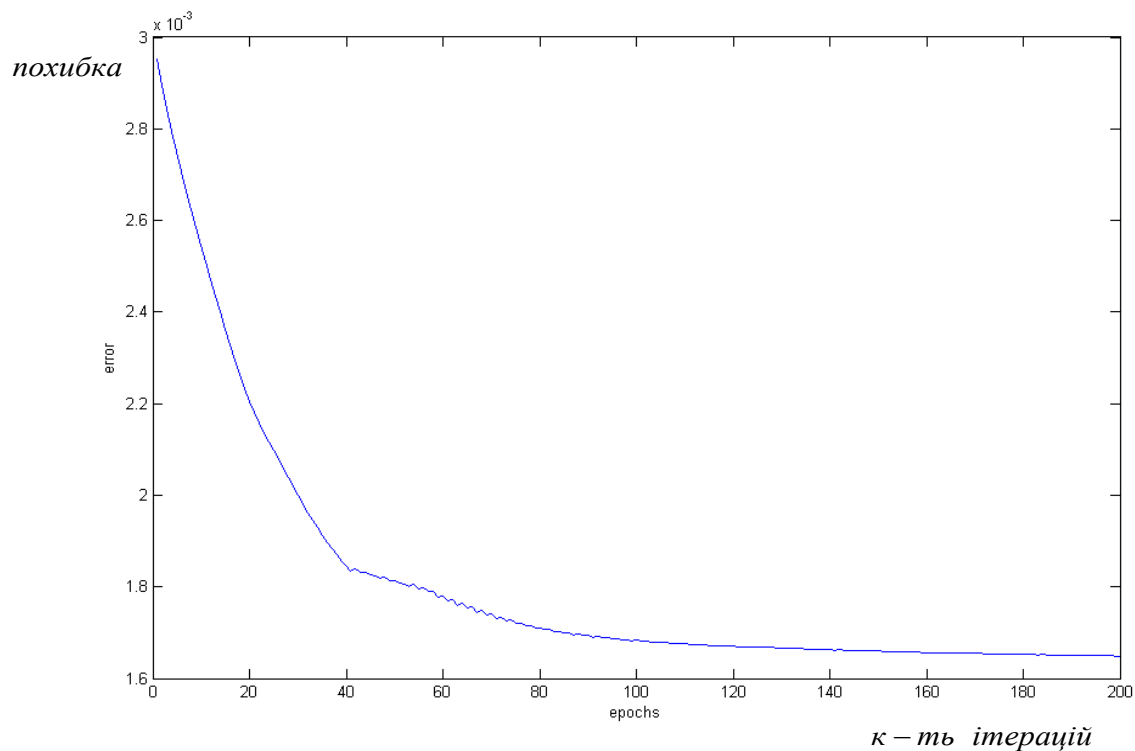


Рисунок 2.17 – Динаміка зміни похибки моделі при навчанні

На основі розробленої моделі за допомогою використання програми Matlab проведено попереднє прогнозування добового обсягу навантаження контейнерів (рисунок 2.18).

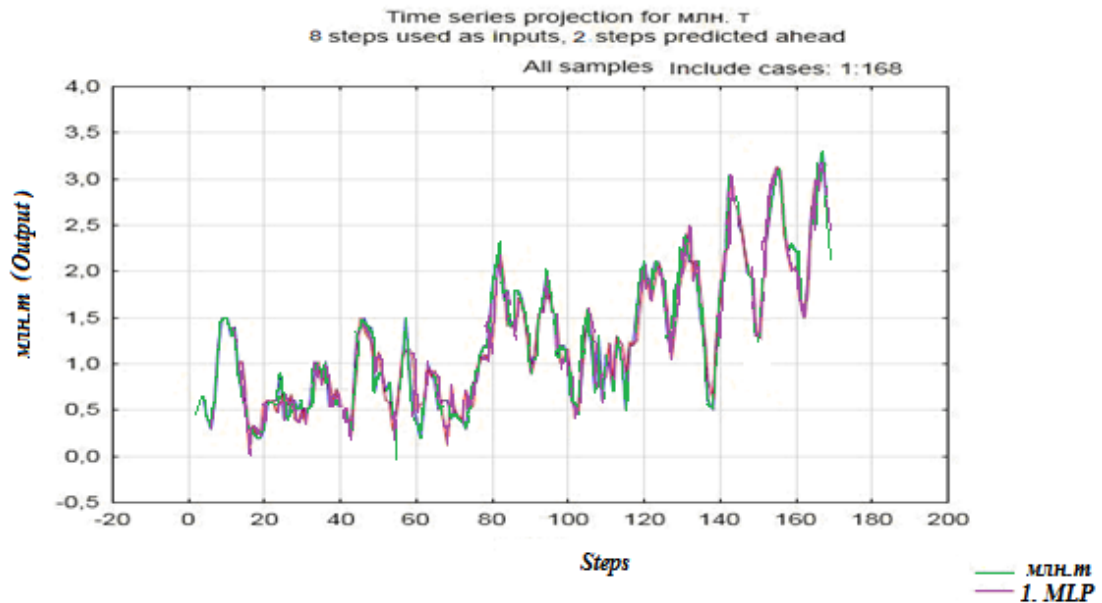


Рисунок 2.18 – Порівняння прогностного ряду обсягів перевезення контейнерів на одній транспортній системі

Як видно з наведеного рисунку нейро-нечітка модель апроксимує дані часового ряду з високої точністю. Таким чином, методика застосування нечіткої нейронної мережі в даному випадку ефективна для прогнозування завантаженості елементів транспортної системи.

2.5 Перевірка розробленої моделі прогнозування на адекватність

До теперішнього часу не створено єдиної загальноприйнятої системи оцінки якості прогностних моделей навіть не зважаючи на те, що інтерес до сфери прогнозування із року в рік посилюється. Особливо гостро проблема класифікації та оцінки якості прогностних моделей стоїть у фінансовій сфері, саме там, де і використовують більшість моделей, які прогнозують часові ряди. Для оцінки точності прогнозу і якості прогностних моделей використовують показники, які обчислюють на основі фактичних і прогностних даних. Більшість з цих показників є різними видами похибок прогнозу.

Перевірка на адекватність запропонованої нейронної мережі для прогнозування обсягів перевезення вантажів проведена за допомогою використання коефіцієнта розбіжності прогнозу (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Перевірка на адекватність запропонованої нейронної мережі для прогнозування обсягів перевезення вантажів

Період	Фактичні дані Y_t , млн. т	Прогнозні дані \hat{Y}_t , млн. т	Похибка прогнозу $Y_t - \hat{Y}_t$, млн. т	Коефіцієнт розбіжності прогнозу $k_T = \frac{\sqrt{\sum (\hat{Y}_t - Y_t)^2}}{\sqrt{\sum Y_t^2}}$
Квітень 2018	2,91	2,723286	0,186714	0,064169
Травень 2018	3,84	3,731873	0,108127	0,028158
Червень 2018	2,42	2,528341	-0,108341	0,044769
Липень 2018	2,63	2,577128	0,052872	0,020103
Серпень 2018	1,27	1,561874	-0,291874	0,229822
Вересень 2018	2,43	2,399975	0,030025	0,012356
Жовтень 2018	1,99	1,899013	0,090987	0,045722
Листопад 2018	2,43	2,176416	0,253584	0,104356

Похибка прогнозу не перевищує 4,86 %. Це свідчить про високу точність прогнозування. Враховуючи, що інтермодальні перевезення вантажів є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень. Це у свою чергу дасть змогу за необхідності коригувати маршрут доставки. Результати моделювання доцільно буде врахувати при розробленні оптимізаційної математичної моделі управління інтермодальними перевезеннями вантажів.

2.6 Висновки до розділу 2

1. В умовах неповноти інформації і складності отримання достовірних даних в роботі проведено розрахунки за допомогою «Bootstrap»-методу в системі «Statistica» в середовищі Windows, що дозволило змоделювати види законів розподілу станів системи. Визначення необхідних параметрів

статистичних розподілів часу надходження проведено в середовище QBAS за спеціально розробленою програмою.

2. У зв'язку з тим, що прогнозування нестабільних та нечітких процесів є дуже ненадійним і малоефективним, в роботі було застосовано фрактальний аналіз. Отримана в результаті похибка прогнозу при використанні фрактального аналізу склала більше 7 % і не задовольнила умови завдання. Тому було прийнято рішення, що прогнозування обсягів перевезень на транспортній мережі необхідно виконувати з використанням нейро-нечіткого моделювання.

3. На основі проведеного аналізу організації інтермодальних перевезень встановлено, що ці перевезення мають інерційний характер та велику кількість варіантів доставки вантажів, що в свою чергу може викликати перезавантаженість одного чи декількох видів транспорту. З урахуванням цього було розроблено прогнозну модель згідно з нейро-нечіткою теорією, яка дозволяє прогнозувати обсяги перевезень вантажів.

4. Сформовано процедуру визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення за рахунок прогнозування обсягів перевезення з використанням нейро-нечіткого моделювання на основі моделі ANFIS (англ. Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System). Цей спосіб прогнозування має високі властивості адаптації до змінних вхідних даних за рахунок самонавчання.

5. Якість і надійність прогнозної нейро-нечіткої моделі визначено через значення середньої похибки прогнозу, яка склала 4,86 % фактичних значень обсягів перевезення вантажів, що свідчить про високу точність прогнозування. Враховуючи, що інтермодальні перевезення вантажів є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень. Це у свою чергу дасть змогу за необхідності коригувати маршрут доставки. Результати моделювання враховуються при розробці оптимізаційної математичної моделі управління інтермодальними перевезеннями вантажів.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЛАНУВАННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

3.1 Формалізація технологічного процесу просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях

Головні тенденції в розвитку організації вантажних перевезень на залізницях світу пов'язані з розширеним застосуванням спеціалізованого рухомого складу та збільшенням перевезень по змішаних схемах (інтермодальні, контрейлерні та бімодальні перевезення) переважно в міжнародному сполученні. Інтермодальні перевезення, як показує світовий досвід, а також згідно з розділом 1 безумовно, один із найперспективніших напрямків розширення спектру транспортних послуг [116].

Наразі при обранні виду перевезення вантажів основну увагу надають таким показникам, як вартість перевезення, надійність перевезення, швидкість доставки, схоронність вантажів та ще багатьом чинникам, що впливають на вибір виду перевезення. У сучасних реаліях у конкурентній боротьбі між видами транспорту перевагу надають тому виду транспорту, якість якого вище [5, 116].

Для об'єктивної оцінки якості послуг різних видів транспорту використовують методи теоретичної кваліметрії – наукової області, що об'єднує кількісні методи оцінки якості, які використовуються для обґрунтування рішень, що приймаються при управлінні якістю продукції та стандартизації [117, 118].

Разом з цим різноманіття транспортних засобів не дозволяє комплексно оцінювати їх властивості. У різних видів транспорту діапазон використання технічних характеристик відрізняється. Тому виникає необхідність у використанні комплексного показника якості транспортних засобів.

Багато часу робота транспорту оцінювалась у «тонно-кілометрах», але в умовах зростання вантажопотоків цей показник не може дати об'єктивної оцінки роботі транспорту, оскільки не відображає важливого фактору перевезень – швидкості. Тому професором Н.Г. Винниченко для врахування швидкості доставляння вантажів було запропонована транспортна одиниця руху у вигляді добутку основних показників транспортного процесу: маси вантажу, дальності перевезення і швидкості руху вантажу ($Q \cdot L \cdot V$) [118].

Однак цей показник не дає об'єктивної оцінки швидкісному транспорту, тому було запропоновано (П.Г. Кузнєцов і Р.І. Образцов) критерій оцінки транспортної роботи у вигляді «трану» з розмірністю «т·км³/год²» [117, 118].

«Тран» складається з трьох складових: величини маси вантажу, що перевозиться, дальності його перевезення та квадрату швидкості переміщення вантажу ($A = Q \cdot L \cdot V^2$). Така сукупність параметрів характеризує енергетичну сутність переносу маси, тобто її кінетичну енергію руху, що еквівалентна роботі по переміщенню вантажу на відстань L [117, 118].

Як видно, домінуючим фактором у оцінці транспортної роботи є фактор швидкості (у квадраті), що складає основу процесу інтенсифікації перевезень. «Тран» відображає відомі закони природи, згідно яких робота витрачається на подолання сил опору, які змінюються за квадратичним законом від швидкості руху [118].

Рівняння кваліметрії для оцінки показника узагальненого рівня транспортного засобу визначається за допомогою «трану» [118], який у загальному вигляді буде дорівнювати

$$Z = f(Q, h, V, P, G, v, L, V_x), \quad (3.1)$$

де Q – маса вантажу, що перевозиться транспортним засобом, т;

P – вантажопідйомність транспортного засобу, т;

h – величина нерівності (складності) шляху, м;

V – технічна швидкість транспортного засобу, км/год.;

G – повна маса транспортного засобу у завантаженому стані, т;

V – об'єм транспортного засобу, M^3 ;

L – маршрут перевезення вантажу, км;

V_x – ходова швидкість транспортного засобу, км/год.

Робочий вигляд цього рівняння можна визначити за допомогою методу аналізу розмірностей [119, 120]. Будь-яка функція від незалежних змінних аргументів може бути відображена через добуток цих аргументів, що взяті з різними показниками ступені, тобто

$$Z = C' Q^\alpha h^\beta V^\chi G^\delta v^\varepsilon L^\kappa V_x^\lambda, \quad (3.2)$$

де C' – постійна;

$\alpha, \beta, \chi, \delta, \varepsilon, \kappa, \lambda$ – відповідні показники ступеней.

Після проведення процедур пошуку показників ступеней у загальному вигляді формула розмірностей обох частин рівняння при основних одиницях виміру M, L_x, L_y, L_z, T , при цьому приймаємо $Q, P=M, L=L_x, L_y, L_z, T=T$. Тоді рівняння буде мати вигляд

$$\frac{M (L_x^{1/2} L_z^{1/2})^3}{T^2} = M^\alpha \cdot L_y^\beta \cdot \left(\frac{L_x^{1/2} L_z^{1/2}}{T} \right)^\chi \cdot M^\delta \cdot (L_x L_y L_z)^\varepsilon \cdot (L_x^{1/2} L_z^{1/2})^\kappa \cdot \left(\frac{L_x^{1/2} L_z^{1/2}}{T} \right)^\lambda. \quad (3.3)$$

Виконуючи порівняння коефіцієнтів при відповідних параметрах якості, знаходимо: $\alpha = 1 - \delta$, $\beta = -\varepsilon = -1/2 + \kappa/2$, $\chi = 2 - \lambda$, $\delta = \delta$, $\varepsilon = 1/2 - \kappa/2$, $\kappa = \kappa$, $\lambda = \lambda$.

Тоді попередній вираз приймає вигляд

$$Z = C' \cdot QV^2 \cdot \left(\frac{v}{h}\right)^{1/2} \cdot \left(\frac{G}{P}\right)^\delta \cdot \left(\frac{V_x}{V}\right)^2 \cdot \left(L \frac{h^{1/2}}{v^{1/2}}\right)^\kappa. \quad (3.4)$$

На підставі інженерного аналізу можна прийняти, що $\delta = -1$, тобто якість транспортного засобу буде пропорційна величині коефіцієнта комерційної віддачі $\frac{P}{G}$, що не суперечить практиці. А показник приймає значення $\kappa = 2$ з метою спрощення параметрів у складі рівняння, приймаємо значення $\lambda = 2$ як показник запасу кінетичної енергії.

Отже, остаточно прийнявши $\delta = 1$, $\kappa = 2$, $\lambda = 2$, отримаємо

$$Z = C' \cdot QV^2L \cdot \frac{P}{G} \cdot \left(\frac{V_x}{V}\right)^2 \cdot L \left(\sqrt{\frac{h}{v}}\right) = C' \cdot QV^2L \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3. \quad (3.5)$$

Звичайно приймають $C' = 1$, що спрощує розрахунки, не завдаючи шкоди кваліметрії транспортних засобів.

Аналізуючи отриманий результат можна констатувати, що множник у вигляді $A = Q \cdot V^2 \cdot L$ є кількісною величиною корисного ефекту транспортної операції, $k_1 = \frac{P}{G}$ характеризує вагову досконалість даного транспортного засобу, тобто вантажну віддачу до ваги транспортного засобу, $k_2 = \left(\frac{V_x}{V}\right)^2$ враховує запас кінетичної енергії, $k_3 = L \left(\sqrt{\frac{h}{v}}\right)$ характеризує дорожні переваги транспортного засобу.

В наведеному вигляді цього показника не враховані такі важливі показники як: питомі витрати на утримання конкретного транспортного засобу, витрати часу на виконання технологічних операцій, значення рівня конкурентоспроможності. З

урахуванням цих показників кваліметричний критерій узагальненого рівня транспортного засобу приймає вигляд

$$Z = A' \cdot \prod_{i=1}^m k_i = \frac{Q \cdot V^2 \cdot L}{\varphi \cdot \Delta\tau} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \rightarrow \max, \quad (3.6)$$

де $A' = \frac{A}{\varphi \cdot \Delta\tau}$; A – величина корисного ефекту транспортної операції,

$$A = Q \cdot V^2 \cdot L;$$

φ – коефіцієнт, що враховує відношення витрат на утримання транспортного засобу за життєвий цикл до вартості транспортного засобу,

$$\varphi = \frac{C_{жци_i}}{c_i};$$

$C_{жци_i}$ – витрати на утримання транспортного засобу за життєвий цикл, грн.;

c_i – вартість транспортного засобу, грн.;

$\Delta\tau = 1 - \tau$; τ – коефіцієнт скорочення часу під технологічними операціями, $\tau = \frac{\Delta T}{T}$;

ΔT – приріст значення часу під технологічними операціями за різними технологіями, год.;

T – значення часу під технологічними операціями за базовою технологією, год.;

k'_i – коефіцієнти окремих властивостей;

k_1 – коефіцієнт комерційної віддачі;

k_2 – коефіцієнт запасу динамічних властивостей транспортного засобу;

k_3 – коефіцієнт дорожніх переваг транспортного засобу;

k_4 – коефіцієнт конкурентоспроможності транспортного засобу;

k_5 – коефіцієнт надійності транспортного засобу.

За таких обмежень:

$$\begin{cases} C_{\text{зці}_i} > 0, c_i > 0, Q > 0, \\ \Delta T > 0, T > 0, L > 0, \\ 0 < V \leq V_x, \tau < 1. \end{cases} \quad (3.7)$$

Таким чином, визначається ефективна транспортна робота, що виражена у транах, але це не дає об'єктивної оцінки, виникає необхідність у вираженні кваліметричного критерію через грошові одиниці

$$F = \omega_{\text{зал}} \cdot F_{\text{зал}} + \omega_{\text{авт}} \cdot F_{\text{авт}} + \omega_{\text{мор}} \cdot F_{\text{мор}} + \omega_{\text{нов}} \cdot F_{\text{нов}} + \omega_{\text{трб}} \cdot F_{\text{трб}} \rightarrow \min, (3.8)$$

де $\omega_{\text{зал}}, \omega_{\text{авт}}, \omega_{\text{мор}}, \omega_{\text{нов}}, \omega_{\text{трб}}$ – вага (значущість) видів транспорту згідно з

$$[121], \sum \omega_i = 1;$$

$F_{\text{зал}}, F_{\text{авт}}, F_{\text{мор}}, F_{\text{нов}}, F_{\text{трб}}$ – значення кваліметричного критерію для видів транспорту.

Таким чином, значення ваги (значущості) видів транспорту ω_i визначається

$$\omega_i = \frac{m_i}{\sum m_i}, \quad (3.9)$$

де i – змінна, що відповідає виду транспорту, $i = \overline{1, n}$;

m_i – оцінка різних видів транспорту.

Згідно з [121] за шістьма факторами найкращими варіантами є автомобільний та залізничний транспорт. Трубопровідний транспорт має обмеження по номенклатурі вантажів. Повітряний транспорт має велику вартість, залежний від погодних умов. Морський транспорт має великий час формування судна, залежний від погодних умов, має великі зовнішні ризики.

У подальшому формулу було перетворено з врахуванням двох кращих варіантів та комбінацією цих варіантів у вигляді комбінованого (інтермодального) транспорту

$$F(L_1, L_2, L_3) = \omega_{зал} \cdot F_{зал}(L_1) + \omega_{авт} \cdot F_{авт}(L_2) + \omega_{инт} \cdot F_{инт}(L_3) \rightarrow \min, \quad (3.10),$$

де $\omega_{инт}$ – вага (значущість) інтермодального транспорту;

$F_{бм}$ – значення кваліметричного критерію для інтермодального транспорту.

Критерієм вибору виду транспорту є мінімізація витрат на перевезення за обраним маршрутом

$$F(L_1, L_2, L_3) = \sum_j \sum_i \omega_i \frac{C_i \cdot n_i \cdot k_{5i}}{A_{ij} \cdot k_{1i} \cdot k_{2i} \cdot k_{3i} \cdot k_{4ij} \cdot k_{6i} \cdot \varphi_i} \rightarrow \min, \quad (3.11)$$

де i – змінна, що відповідає виду транспорту, $i = \overline{1, n}$;

j – змінна, що відповідає маршруту перевезення вантажу.

$$F(L_1, L_2, L_3) = \omega_i \frac{C_i \cdot n_i}{A_{ij} \cdot k_{1i} \cdot k_{2i} \cdot k_{3i} \cdot k_{4ij} \cdot \varphi_i} + \omega_i \frac{C_i \cdot n_i}{A_{ij} \cdot k_{1i} \cdot k_{2i} \cdot k_{3i} \cdot k_{4ij} \cdot \varphi_i} + \omega_i \frac{C_i \cdot n_i \cdot k_{5i}}{A_{ij} \cdot k_{1i} \cdot k_{2i} \cdot k_{3i} \cdot k_{4ij} \cdot k_{6i} \cdot \varphi_i} \rightarrow \min, \quad (3.12)$$

де ω_i – вага (значущість) видів транспорту;

C_i – витрати палива (бензину) на перевезення різними видами транспорту,

$$C_i = \eta G_{n_i} \cdot \frac{L_i \cdot 60}{V_i} \cdot C_{n_i}, \text{ грн};$$

η – витрати локомотиву на власні нужди згідно з [122];

n_i – кількість рейсів для залізничного, автомобільного та інтермодального видів транспорту, $n_i = \frac{g}{Q_i}$;

A_{ij} – величина корисного ефекту транспортної операції, $A = Q \cdot V^2 \cdot L$;

k_1 – коефіцієнт комерційної віддачі, $k_1 = \frac{Q}{G_i}$;

k_2 – коефіцієнт запасу динамічних властивостей транспортного засобу,
 $k_2 = \left(\frac{V_{x_i}}{V_i} \right)^2$;

k_3 – коефіцієнт повноти використання потужності двигуна, $k_3 = \frac{V_{max_i}}{\lambda \sqrt[3]{N_i \cdot \frac{L_i}{G_i}}}$;

k_4 – коефіцієнт врахування витрат матеріалів за рейс, $k_4 = \frac{1}{1,01 + 0,01(1 + \alpha_i)^{\frac{L_i \cdot Q}{G_i}}}$;

k_5 – коефіцієнт скорочення часу під технологічними операціями,

$$k_5 = \Delta \tau = 1 - \tau, \quad \tau = \frac{\Delta T}{T};$$

ΔT – приріст значення часу під технологічними операціями за різними технологіями, год.;

T – значення часу під технологічними операціями за базовою технологією, год.;

$k_6 = k_{кон}$ – коефіцієнт конкурентоспроможності транспортного засобу;

φ_i – коефіцієнт, що враховує відношення витрат на утримання транспортного засобу за життєвий цикл до вартості транспортного засобу,

$$\varphi_i = \frac{C_{жц}}{c_i}.$$

$$\begin{aligned}
 F(L_1, L_2, L_3) = & \omega_i \frac{\eta G_{ni} \cdot \frac{L_1 \cdot 60}{V_i} \cdot C_{ni} \cdot \frac{g}{Q_i}}{Q_i V_i^2 L_{\max_1} \cdot \frac{P_i}{G_i} \cdot \left(\frac{V_{max_i}}{V_{p_i}} \right)^2 \cdot \frac{V_{max_i}}{\lambda^3 \sqrt{N_i / G_i / l_i}} \cdot \frac{1}{1,01 + 0,01(1 + \alpha)^{L_i \frac{g}{Q_i}}} \cdot \frac{C_{жц_i}}{c_i}} + \\
 & + \omega_i \frac{G_{ni} \cdot \frac{L_2 \cdot 60}{V_i} \cdot C_{ni} \cdot \frac{g}{Q_i}}{Q_i V_i^2 L_{\max_2} \cdot \frac{P_i}{G_i} \cdot \left(\frac{V_{max_i}}{V_{p_i}} \right)^2 \cdot \frac{V_{max_i}}{\lambda^3 \sqrt{N_i / G_i / l_i}} \cdot \frac{1}{1,01 + 0,01(1 + \alpha)^{L_i \frac{g}{Q_i}}} \cdot \frac{C_{жц_i}}{c_i}} + \\
 & + \omega_i \frac{G_{ni} \cdot \frac{L_3 \cdot 60}{V_i} \cdot C_{ni} \cdot \frac{g}{Q_i} \cdot (1 - \tau)}{Q_i V_i^2 L_{\max_3} \cdot \frac{P_i}{G_i} \cdot \left(\frac{V_{max_i}}{V_{p_i}} \right)^2 \cdot \frac{V_{max_i}}{\lambda^3 \sqrt{N_i / G_i / l_i}} \cdot \frac{1}{1,01 + 0,01(1 + \alpha)^{L_i \frac{g}{Q_i}}} \cdot k_{кон} \cdot \frac{C_{жц_i}}{c_i}} \rightarrow \min,
 \end{aligned} \tag{3.13},$$

де G_{ni} – витрати палива (бензину) різними видами транспорту, кг/хв;

C_{ni} – вартість 1 кг палива (бензину) для різних видів транспорту, грн;

L_1, L_2, L_3 – відповідно маршрут перевезення вантажу залізничним, автомобільним та інтермодальним видами транспорту, км;

V_i – середня швидкість руху поїзда по перегону, автомобіля по трасі та інтермодального модулю, км/год;

g – маса вантажу, що перевозиться залізничним, автомобільним та інтермодальним видами транспорту, т;

Q_i – вага вантажу, яка може бути перевезена залізничним, автомобільним та інтермодальним видами транспорту за рейс, т;

$L_{\max_1}, L_{\max_2}, L_{\max_3}$ – відповідно максимальна довжина руху локомотиву, автомобіля та інтермодального модулю без поповнення пального, км;

P_i – вантажопідйомність транспортного засобу, т;

G_i – повна маса транспортного засобу у завантаженому стані, т;

V_{max_i} – максимальна швидкість транспортного засобу з вантажем, км/год;

V_{p_i} – розрахункова швидкість транспортного засобу, км/год;

λ – імперічний коефіцієнт, що встановлює зв'язок між параметрами швидкості, потужності, маси та довжини транспортного засобу;

N_i – потужність транспортного засобу, кВт;

l_i – довжина транспортного засобу, м;

α_i – коефіцієнт питомого приросту агрегатів, що відмовили, $\alpha_i = \frac{1}{365\varphi_i}$;

L'_i – питомий пробіг на 1 км;

$k_6 = k_{кон}$ – коефіцієнт конкурентоспроможності транспортного засобу;

$C_{жц_i}$ – витрати на утримання транспортного засобу за життєвий цикл, грн.;

C_i – вартість транспортного засобу, грн.

За таких обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \omega_i = 1; \omega_i \geq 0; \\ Q_i > 0; L_i > 0; L_1 \leq L_{mc}; \\ L_2 \leq L_{zn}; L_1 + L_2 + L_3 \leq L_{nn}; \\ T_{дост} \leq T_{зам}; \\ \tau < 1; \Delta T > 0; T > 0; \\ 0 < V_{p_i} \leq V_i \leq V_{max}. \end{array} \right. \quad (3.14)$$

Таким чином, значення маси транспортного засобу задається умовами перевезення, значення ходової швидкості транспортного засобу, коефіцієнту комерційної віддачі, коефіцієнту запасу динамічних властивостей транспортного засобу, коефіцієнту повноти використання потужності двигуна, коефіцієнту врахування витрат матеріалів за рейс може бути визначено оперативним шляхом, значення коефіцієнту відношення витрат на утримання

транспортного засобу за життєвий цикл до витрат на вартість транспортного засобу приймається згідно з [123].

Розроблена процедура визначення вибору транспортної технології дозволяє враховувати важливість тієї чи іншої складової критерію у кожному конкретний момент часу при прийнятті рішень. Запропонований критерій може бути використаний як для підвищення ефективності взаємодії автомобільного та залізничного транспорту, так і для інших видів транспорту через його комплексний характер [7].

3.2 Розроблення математичної моделі визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення

Контейнерні перевезення є основним компонентом інтермодальних перевезень та міжнародної торгівлі. Інтермодальні перевезення здійснюються із залученням двох або більше видів транспорту. Їх специфіка полягає також і у тому, що вантаж на протязі всього шляху знаходиться у складі однієї і тієї ж транспортної одиниці, наприклад, контейнера, а перевезення здійснюється за єдиним транспортним документом та під контролем єдиного оператора. За таких умов вантажовідправник не повинен укладати окремих договорів із транспортними підприємствами та особисто контролювати всі ланки перевезення, наприклад, складні процеси перевантаження контейнерів, узгодження розкладів тощо. Така зручність є важливим фактором, який забезпечує даному виду перевезень постійний притік нових клієнтів, особливо зважаючи на те, що оператори також здійснюють контроль митних операцій при перетині міждержавних кордонів. Інтермодальні перевезення є також рятівним колом і для залізничної галузі України, адже її територією проходять декілька міжнародних транспортних коридорів. Однак для підвищення конкурентоспроможності і привабливості інтермодальних перевезень необхідно зробити їх максимально зручними для клієнтів за рахунок максимального

наближення останніх до процесу планування. Однією з першочергових задач є задача оперативного планування перевезення, в результаті вирішення якої буде визначатись маршрут із урахуванням не лише довжини сегментів, що відповідають різним видам транспорту, а й фактору часу. Мета застосування даного підходу полягає у забезпеченні підвищення точності урахування часів затримок під час передачі вантажу від одного транспортного підприємства до іншого, та забезпеченні можливості одночасного урахування вимог клієнта щодо вартості перевезення та терміну доставки.

Математична модель визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення представлена у вигляді двох цільових функцій.

Одним з критеріїв при плануванні інтермодального перевезення є його вартість. Цільову функцію доцільно сформулювати у вигляді витрат, які припадають на один контейнер:

$$C(X, t_0) = \left(e_{\text{док}} + n \sum_{i=1}^{\#X} \left(L_{x_i} e_{x_i} + (e_{x_i}^{\partial_1} + e_{x_i}^{\partial_2}) + \theta \left(\left| m_{x_i} - m_{x_{i+1}} \right| \right) \left(e_{s_{x_i}^{\text{кінц}}, s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}} + \left(e_{s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{скл}} + \chi e_{s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{ох}}} \right) \tau_{s_{x_i}^{\text{кінц}}, s_{x_{i+1}}^{\text{поч}}}^{\text{пер}}(t_0) \right) \right) \right) / n \rightarrow \min, \quad (3.15)$$

де X – впорядкований змінний вектор (множина) номерів дуг, що відповідає маршруту переміщення вантажу на графі;

$e_{\text{док}}$ – витрати на оформлення перевізних документів;

n – обсяг партії вантажу, приведений до 20-футових контейнерів (TEU);

$\#X$ – потужність множини елементів змінного вектора X ;

L_{x_i} – довжина ділянки маршруту, що відповідає i -му елементу множини x ;

e_{x_i} – питомі витрати на переміщення контейнера на ділянці, що відповідає

дузі x_i ;

$e_{x_i}^{\partial_1}$ – додаткові витрати на дузі x_i , пов'язані з вантажем (плата за додаткове кріплення, перевантаження тощо);

$e_{x_i}^{\partial_2}$ – додаткові витрати на дузі x_i , пов'язані зі специфікою просування транспортного засобу (судовий збір, плата за льодове проведення судна, сезонна надбавка до тарифу);

$e_{s_{x_i}^{кінц}}, e_{s_{x_{i+1}}^{поч}}$ – питомі витрати, пов'язані з вивантаженням контейнера на кінцевому терміналі дуги x_i , переміщенням і навантаженням на терміналі дуги x_{i+1} ;

$e_{s_{x_{i+1}}^{поч}}^{СКЛ}$ – вартість зберігання на складі терміналу, розташованого на початковій вершині дуги x_{i+1} , під час очікування навантаження;

$e_{s_{x_{i+1}}^{поч}}^{ох}$ – питома вартість охорони контейнера на складі терміналу, який розташований на початковій вершині дуги x_{i+1} під час очікування;

χ – булева змінна, що набуває значення 1, якщо охорона необхідна, і 0 – в іншому випадку;

m_{x_i} – вид транспортного сполучення на дузі x_i ;

$\tau_{s_{x_i}^2, s_{x_{i+1}}^1}^{пер}(t_0)$ – часовий інтервал затримки при переході між дугами x_i та x_{i+1} (при зміні одного виду транспорту на інший або виконанні операцій із поїздами на залізничних станціях, митних операцій тощо), який залежить від моменту початку реалізації маршруту t_0 ;

$\theta(x)$ – функція Гевісайда

$$\theta(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases} \quad (3.16)$$

Ще одним важливим критерієм є час доставки вантажу. Його можна представити у вигляді наступної цільової функції:

$$T(X, t_0) = \sum_{i=1}^{\#X} \left(\frac{L_{x_i}}{V_{x_i}} k_{x_i}^{zam}(t_0) + \tau_{s_{x_i}^{кинц}, s_{x_{i+1}}^{поч}}^{пер}(t_0) \right) \rightarrow \min, \quad (3.17)$$

де V_{x_i} – середня швидкість переміщення по дузі x_i ;

$k_{x_i}^{zam}(t_0)$ – коефіцієнт затримки при переміщенні по дузі x_i , який

залежить від моменту початку реалізації маршруту t_0 .

До того ж для отримання адекватного рішення на керуючі змінні моделі накладаються певні обмеження:

$$\left\{ \begin{array}{l} t^{LM} \leq t_0 \leq t^{NM} \\ s_{x_i}^{кинц} = s_{x_{i+1}}^{поч}, \quad i = 1, 2, \dots, \#X \\ s_{x_1}^{поч} = s^{поч} \\ s_{x_{\#X}}^{кинц} = s^{кинц} \\ n \leq w_{x_i}(t_0), \quad i = 1, 2, \dots, \#X \end{array} \right., \quad (3.18)$$

де t^{LM} та t^{NM} – ліва та права межа інтервалу можливого початку реалізації маршруту, визначені вантажовідправником;

$s^{поч}$ та $s^{кинц}$ – номери вершин графа транспортної мережі, які відповідають початковому і кінцевому пунктам маршруту відповідно;

$S_{x_i}^{кінц}$ та $S_{x_{i+1}}^{поч}$ – номер кінцевої вершини дуги x_i та номер початкової вершини дуги x_{i+1} відповідно;

$S_{x_1}^{поч}$ та $S_{x_{\#X}}^{кінц}$ – номер початкової вершини першої дуги маршруту та номер кінцевої вершини останньої дуги маршруту відповідно;

$w_{x_i}(t_0)$ – кількість вільних контейнеро-місць (слотів на борту контейнеровоза або фітінгових платформ для навантаження контейнерів) на момент початку переміщення вантажу по дузі x_i в залежності від моменту початку реалізації маршруту t_0 .

Перше обмеження забезпечує пошук рішення, момент початку реалізації маршруту якого знаходиться в межах певного часового інтервалу, який відповідає умовам вантажовідправника. Друге обмеження забезпечує цілісність маршруту, контролюючи співпадіння кінцевої вершини попередньої дуги та початкової вершини наступної дуги. Третє та четверте обмеження забезпечують відбір тільки тих варіантів маршрутів, які сполучають вершини транспортної мережі, які визначені вантажовідправником у якості початкового і кінцевого пунктів переміщення вантажу. П'яте обмеження забезпечує вибір лише тих маршрутів, які забезпечують наявність достатньої кількості вільних контейнеро-місць для забезпечення можливості переміщення партії вантажу в повному обсязі по всіх ділянках маршруту.

Таким чином, у такій постановці задача вибору оптимального плану мультимодального перевезення є задачею багатоцільової або векторної оптимізації.

Вирішення задач векторної оптимізації є не лише концептуально але й технічно більш складним процесом у порівнянні із задачами, які використовують тільки один критерій. Концептуальна складність полягає в тому, що в загальному випадку не існує єдиного рішення, яке б одночасно відповідало мінімумам по всіх критеріях. Таким чином, рішення задачі може

бути лише компромісним, тобто таким, яке задовольняє певним вимогам або співвідношенням між критеріями, або прагне до певного рівня балансу.

Отже, існує ціла множина «кращих» рішень, яка має назву множини Парето або Парето-фронт. Першим кроком вирішення такої задачі є відшукання по всій області можливих рішень множини рішень, що відповідають Парето-фронт. В цьому полягає технічна складність вирішення даної задачі, адже пошук множини точок Парето-фронт може в свою чергу представляти значну обчислювальну складність, яка може зростати із більш ніж експоненційною швидкістю в порівнянні із лінійною швидкістю збільшення розмірності задачі.

З метою подолання цих труднощів запропоновано використання спеціального евристичного оптимізаційного алгоритму NSGA-III. Цей алгоритм відноситься до класу генетичних алгоритмів, тобто алгоритмів, які базуються на принципах збереження та покращення генофонду у живій природі. Даний алгоритм був спеціально розроблений для вирішення задач багатоцільової оптимізації. Він створений у результаті подальшого розвитку алгоритму NSGA-II, і його основною відмінністю є новий механізм контролю локальної скупченості множини Парето-фронт, а саме оцінка відстані скупченості була замінена оцінкою щільності, яка визначається за допомогою опорних точок.

На першому кроці роботи алгоритму відбувається ініціалізація початкової популяції рішень $P = \{x_i\}_{i=1}^N$ а також множини опорних точок $R = \{r_i\}_{i=1}^N$. Кожна особина популяції представляє собою вектор змінних, який в термінології генетичних алгоритмів має назву «хромосома», а елемент вектора називається «геном». Кожен ген містить номер дуги графа, яка була обрана для побудови маршруту. Останній ген хромосоми містить момент часу початку здійснення перевезення.

На другому кроці алгоритму на основі поточної «батьківської» популяції генерується наступна популяція «нащадків» за допомогою генетичних операцій, таких як схрещування і мутація.

На третьому кроці застосовується недоміноване сортування сукупної множини рішень $P \cup Q$ із виділенням із неї g недомінованих фронтів рішень $F_1, F_2 \dots F_g$.

На четвертому кроці починаючи з фронту F_1 рішення копіюються до тимчасового архіву \bar{P} до тих пір, поки його розмір не зрівняється або не перевищить значення N таким чином, що $\bar{P} = \bigcup_{i=1}^{k-1} F_i$. Якщо розмір популяції \bar{P} дорівнює N , тоді місткість архіву використовується в якості нової популяції $P = \bar{P}$ і якщо умови зупинення роботи алгоритму не досягнуті (крок 7), тоді виконується наступний крок алгоритму.

На п'ятому кроці виконується визначення величини скупченості по опорних точках множини R , шляхом визначення прив'язки точок рішень до найближчої до них опорної точки. Під близькістю до опорної точки розуміється не безпосередня відстань до неї, а довжина перпендикуляру, опущеного на пряму, яка проходить через точку початку координат і відповідну опорну точку (рисунок 3.1).

Таким чином, число точок рішень, які асоціюються з даною опорною точкою називається її величиною щільності (рисунок 3.1). Після обробки точок останнього фронту F_g і додавання їх до множини нової популяції P поточна величина щільності опорних точок перераховується. На шостому кроці відбувається випадковий відбір точки рішення із підмножини рішень, які знаходяться в області опорної точки із найменшою величиною щільності до тих пір, поки чисельність популяції P не зрівняється з N . На сьомому кроці алгоритм виконує перевірку критеріїв зупинки і якщо хоч один із них досягнуто, відбувається зупинка алгоритму і видача результату його роботи у вигляді Парето-фронту, який представлений фронтом F_1 . Всі інші фронти відкидаються у наслідок того, що вони були допоміжними і використовувались лише для підтримання різноманіття популяції для запобігання потрапляння до локальних мінімумів.

У випадку, якщо поточний стан алгоритму не відповідає жодному з критеріїв зупинки, алгоритм повторно продовжує виконання, починаючи з другого кроку.

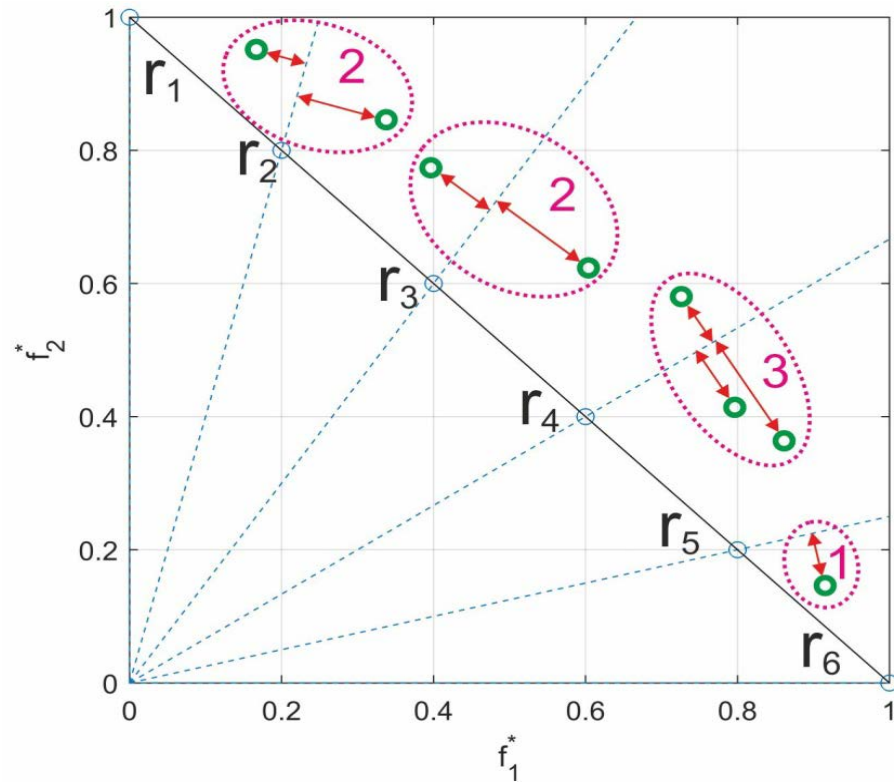


Рисунок 3.1 – Визначення величини щільності опорних точок

У якості вихідних даних була використана абстрактна транспортна мережа, яка містить ділянки шляху, що відповідають чотирьом типам сполучення: автомобільному, залізничному, морському і авіаційному. Дана мережа представлена орієнтованим графом, який наведено на рисунку 3.2.

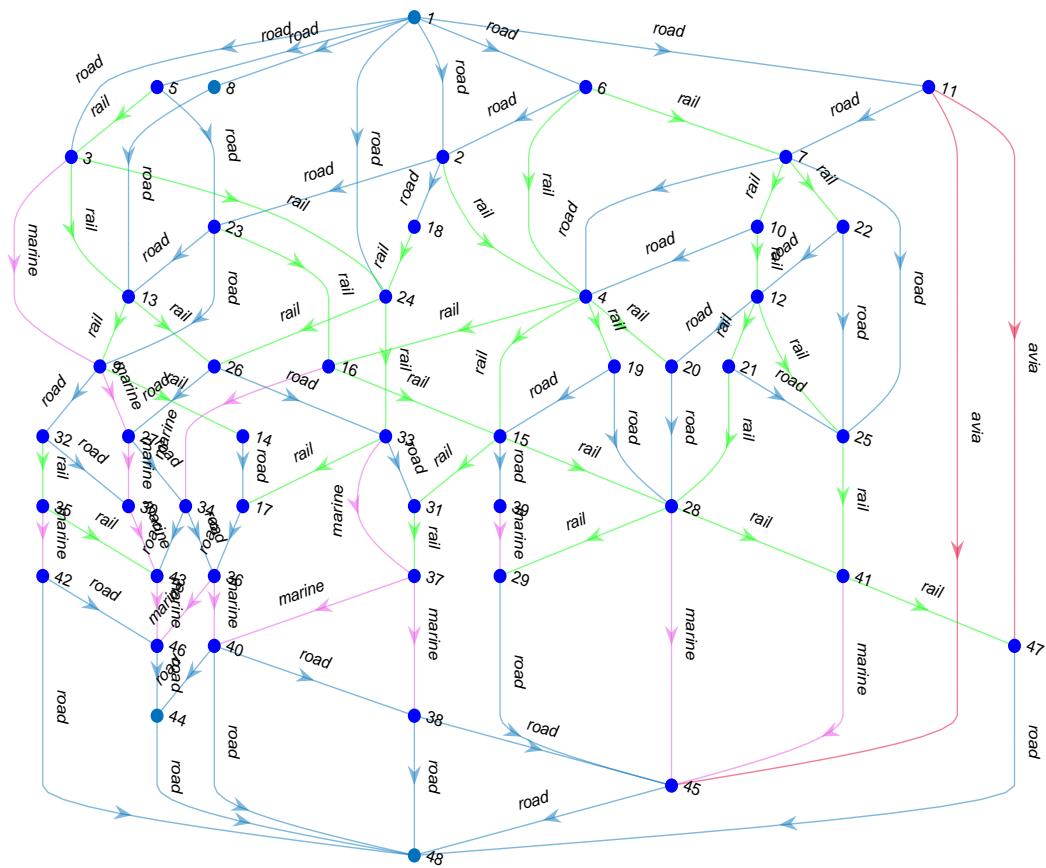


Рисунок 3.2 – Орграф транспортної мережі у задачі планування інтермодальних контейнерних перевезень

Параметрами дуги графа є вид сполучення, відстань, швидкість переміщення і вартість перевезення одного контейнера типу TEU на 1 км. У кожній вершині графу також визначені вартості перевантаження із одного виду транспорту на інший, що відповідають парам дуг, одна з яких представляє ділянку маршруту, по якій вантаж прибуває до даного пункту, друга дуга представляє ділянку, по якій вантаж відбуває від даної точки маршруту. Початкова точка кожної дуги також асоціюється із розкладом затримок початку переміщення по даній дузі, який відповідає моменту часу потрапляння вантажу в ході реалізації перевезення до даного пункту.

Із застосуванням генетичного алгоритму типу NSGA-III було отримано множину парето-оптимальних рішень, яка представлена на рисунку 3.3.

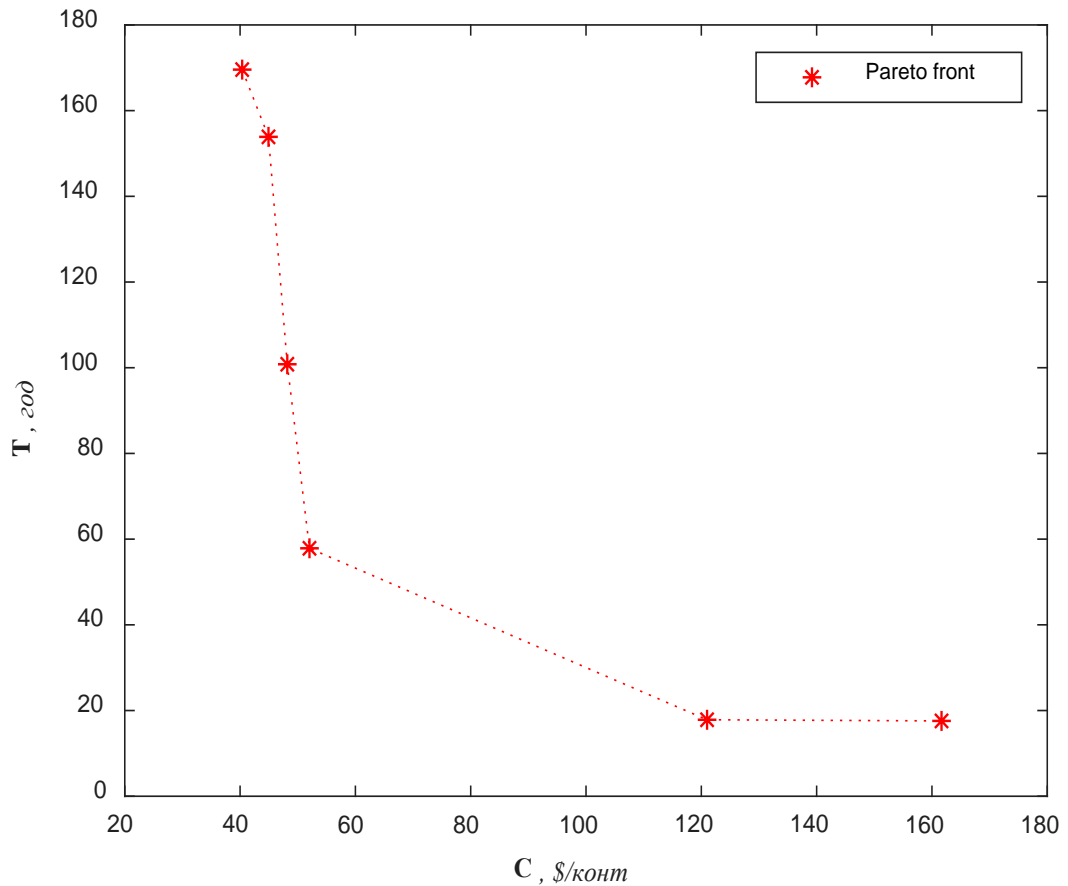


Рисунок 3.3 – Множина рішень Парето-фронту, отримана за допомогою алгоритму NSGA-III

Таким чином, множина Парето-оптимальних рішень включає шість цільових векторів (рисунок 3.3).

На рисунку 3.4 наведений результат ранжіювання популяції рішень у ході виконання алгоритму NSGA-III.

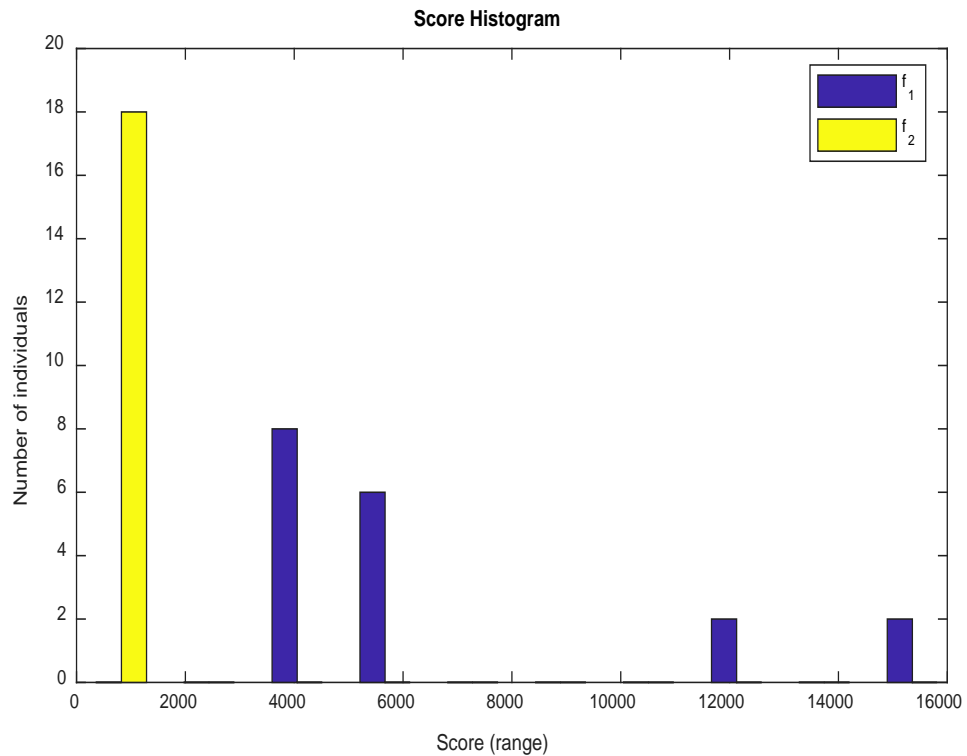


Рисунок 3.4 – Результат ранжювання популяції рішень за значеннями компонентів цільових векторів у ході виконання алгоритму NSGA-III

Парето-фронт представляє собою множину недомінованих цільових векторів, кожен з яких є кращим за інші за значенням хоча б однієї цільової функції. Таким чином, кожен із представлених маршрутів є кращим за хоча б один інший маршрут, що відповідає цільовому вектору отриманої множини Парето, або за критерієм вартості перевезення або за критерієм терміну доставки.

На рисунку 3.5 наведено множину маршрутів, які відповідають даним цільовим векторам.

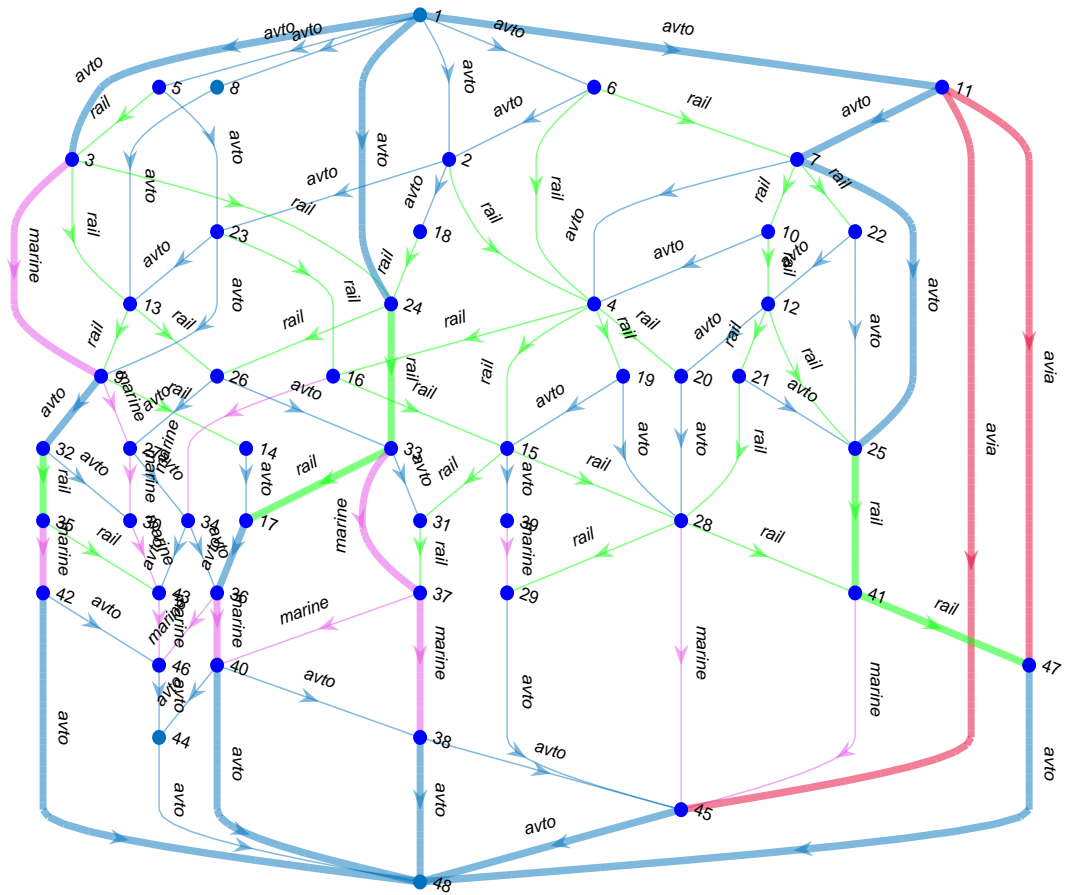


Рисунок 3.5 – Множина рішень Парето-фронту, отримана за допомогою алгоритму NSGA-III

Отже, виділення із цієї множини єдиного рішення, яке максимально задовольняє всім технічним вимогам представляє окрему задачу, яка іноді також може представляти значну складність.

Ключовим моментом для вирішення цієї задачі є вибір методу, який найкращим чином враховує всі чинники, які є важливими при прийнятті даного рішення.

3.3 Моделювання технологічного процесу просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях

Існують методи, які не потребують додаткової інформації, як, наприклад, метод граничної корисності (англ. *marginal utility method*). Однак при виборі маршруту необхідно враховувати вимоги вантажовідправника щодо терміну доставки та вартості перевезення. У зв'язку з цим значний інтерес представляє так званий метод зважених стрес-функцій (англ. *Weighted Stress Function Method, WSFM*). Його основними перевагами є: орієнтованість на багатокритеріальний вибір із можливістю врахування ступеня важливості кожного критерію, а також врахування значення ідеального вектора при здійсненні вибору.

Даний метод був інспірований поведінкою пластичних матеріалів певного класу, таких як термопластичні вулканізати. Ці матеріали є особливою групою термопластичних еластомерів, які мають цікаві механічні властивості. Стрес і напруження – це два різні, але тісно пов'язані між собою поняття. Стрес визначається як сила, що припадає на одиницю площі, яка може викликати зміну предмету або фізичного тіла. Напруження визначається як величина деформації, яку може зазнати матеріал внаслідок застосування стресу. Зв'язок між стресом і напруженням, яку демонструє конкретний матеріал, відображається кривою напруження та деформації.

Даний метод побудований на аналогії із стресово-деформаційною поведінкою матеріалу. Таким чином, стрес визначається як різниця між ідеальною точкою і цільовим вектором (рисунок 3.6). Величина стресу також залежить від ваги критерію.

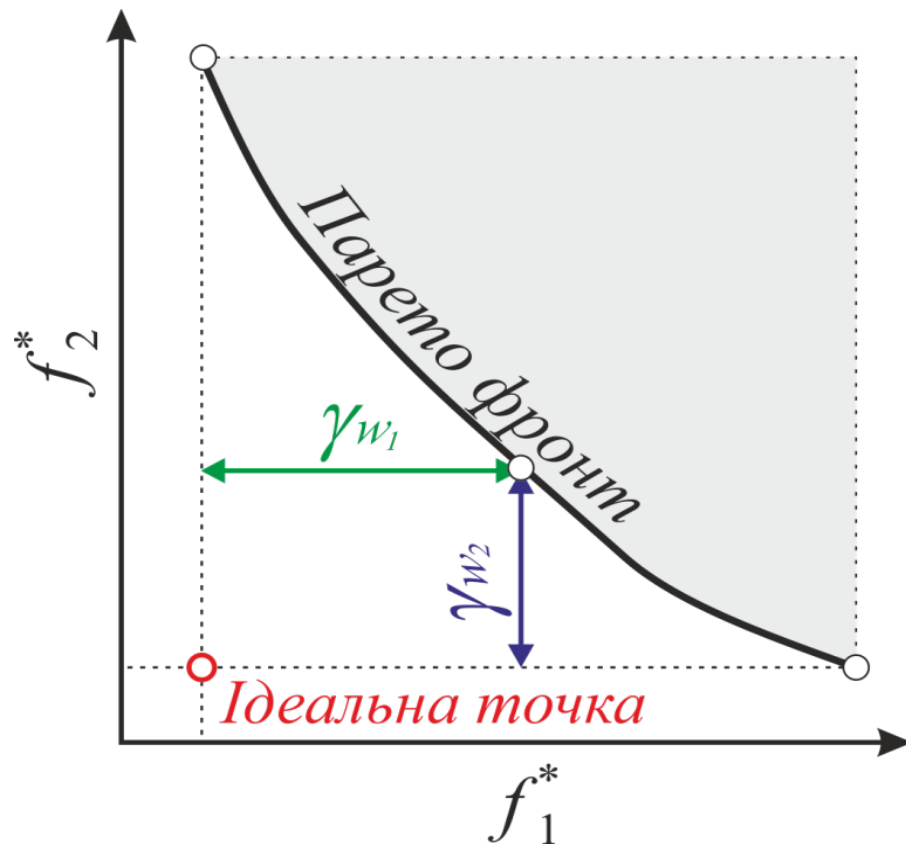


Рисунок 3.6 – Визначення стрес функції

Отже, величина стресу залежить від ваг, які асоціюються із кожним критерієм, тобто компонентом цільового вектора. Таким чином, вага, що відповідає певному критерію є аналогом параметра еластичності матеріалу за певним напрямком дії зусилля (стресу). Оптимальному рішенню відповідає цільовий вектор, який провокує мінімальний рівень стресу. Обчислення величин стрес-функцій базується на значеннях цільових векторів, але для цього значення цільових функцій потребують нормалізації таким чином, щоб вони належали числовому інтервалу $[0,1]$. Нормалізоване значення цільової функції можна отримати за наступною формулою:

$$f_{ij}^* = \frac{f_{ij} - f_i^{\min}}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}, \quad (3.19)$$

де f_{ij} – значення i -ї цільової функції j -ї цільового вектора Парето-фронту;

f_i^{\min}, f_i^{\max} – мінімальне і максимальне значення i -ї цільової функції по всій множині точок Парето-фронту.

Відповідне значення стрес-функції можна обчислити за наступною формулою:

$$\gamma_{ij}(f_{ij}^*, w_i) = 1 + \alpha_{ij}(f_{ij}^*, w_i) \beta_i(w_i), \quad (3.20)$$

де $\alpha_{ij}(f_{ij}, w_i)$ і $\beta_i(w_i)$ – коефіцієнти еластичності, що відповідають компонентам цільових векторів та обраним вагам.

Другий коефіцієнт розраховується за формулою [124]:

$$\beta_i(w_i) = 1 - \frac{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi(2w_i - 1)}{2(1 + \delta_2)}\right)}{\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2(1 + \delta_2)}\right)}, \quad (3.21)$$

де δ_2 – параметр, значення якого приймаємо на рівні $\delta_2 = 0,008$, як найкраще значення, яке було встановлене досвідним шляхом [125].

Перший коефіцієнт обчислюється за формулою:

$$\alpha_{ij}(f_{ij}^*, w_i) = \begin{cases} \frac{tg\left(\frac{\pi(f_{ij}^* - w_i)}{\psi_i(w_i)}\right)\psi_i(w_i)}{S \cdot tg\left(\frac{\pi w_i}{\phi_i(w_i)} - \delta_1\right)\phi_i(w_i)}, & f_{ij}^* \geq w_i \\ \frac{tg\left(\frac{\pi(f_{ij}^* - w_i)}{\phi_i(w_i)}\right)}{tg\left(\frac{\pi w_i}{\phi_i(w_i)}\right)}, & f_{ij}^* < w_i \end{cases}, \quad (3.22)$$

де додаткові коефіцієнти визначаються як $\psi(w_i) = \frac{3}{4}w_i^2 + 2(1 - w_i) + \delta_1$ та

$$\phi(w_i) = \frac{3}{4}w_i^2 + w_i + \delta_1;$$

δ_1 – додатковий параметр, який використовується для відлаштування від зони, що наближена до асимптоти;

S – корегуючий коефіцієнт, який застосовано для забезпечення плавності при сполученні двох частин кривої.

Слід зазначити, що у [124] наведено формулу без корегуючого коефіцієнту, що робить її непридатною для практичного застосування, у [125] наведене значення $\delta_1 = 0,002$, як найкраще значення, встановлене досвідним шляхом. Однак, при даному значенні мають місце значні викривлення форм кривих, що призводить до втрати сенсу застосування даного методу. Досвідним шляхом було встановлено, що значення параметру δ_1 , при яких дані викривлення відсутні, знаходиться у межах $0,33 < \delta_1 < 0,88$. При здійсненні розрахунків значення параметру було прийняте на рівні $\delta_1 = 0,5$.

Також слід зазначити, що значення корегуючого коефіцієнту S залежить від значень параметрів δ_1 та w_i . При здійсненні розрахунків застосовувався

наступний вигляд залежності $s(w_i, \delta_1) = 0,4 \left(\frac{w_i}{\delta_1} \right)^{0,1w_i\delta_1}$. Номограма залежностей, яка розрахована із використанням вищенаведених формул, наведена на рисунку 3.7.

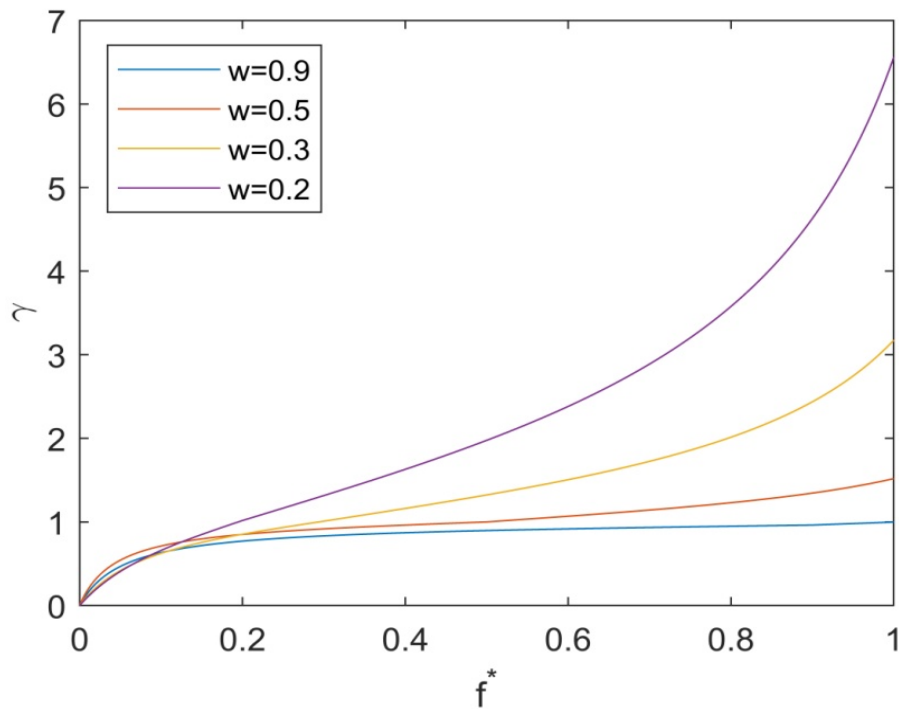


Рисунок 3.7 – Номограма взаємозалежності стрес-функції та значення нормалізованої цільової функції при різних значеннях вагового коефіцієнта

Дана номограма (рисунок 3.7) є аналогом кривих напруження та деформації, де середня частина кривих представляє найбільш пластичну фазу деформації матеріалу.

Отже, цільовий вектор множини Парето і відповідні йому значення керуючої змінної t_0 та керуючого змінного вектору X , що відповідають оптимальному рішення, повинні також відповідати мінімуму наступної цільової функції:

$$Q(X_j, t_{0j}) = \left| \gamma_{1j} \left(f_{1j}^*(X_j, t_{0j}), w_1 \right) - \gamma_{2j} \left(f_{2j}^*(X_j, t_{0j}), w_2 \right) \right| \rightarrow \min. \quad (3.23)$$

За методом зваженої стрес-функції були проведені розрахунки. Величини вагових коефіцієнтів, що відображають рівень значущості критеріїв були прийняті наступні: $w_1 = 0,6$, $w_2 = 0,4$. Результати яких були зведені в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків щодо визначення оптимального маршруту інтермодального контейнерного перевезення

№	Маршрут	Загальна відстань	$C(x)$, $\{f_1(x)\}$, \$/конт	$T(x)$, $\{f_2(x)\}$, год	$f_1^*(x)$	$f_2^*(x)$	$Q(x)$
1	1,24,33,37,38,48	4604	4036,36	169,57	0	1	0,981615
2	1,3,9,32,35,42,48	4116	4492,69	153,88	0,0376	0,8967	0,430953
3	1,24,33,17,36,40,48	2964	4818,74	100,81	0,0645	0,5476	0,395761
4	1,11,7,25,41,47,48	2407	5203,52	57,86	0,0962	0,265	6,906039
5	1,11,47,48	4147	12099,70	17,84	0,6648	0,0018	1,534167
6	1,11,45,48	4458	16166,13	17,57	1	0	17,35612

За результатами розрахунку оптимальний маршрут відповідає цільовому вектору №3, так як він має мінімальне значення функції Q . На рисунку 3.8 наведена Парето-фронт та показана відстань між точкою рішення та ідеальною точкою.

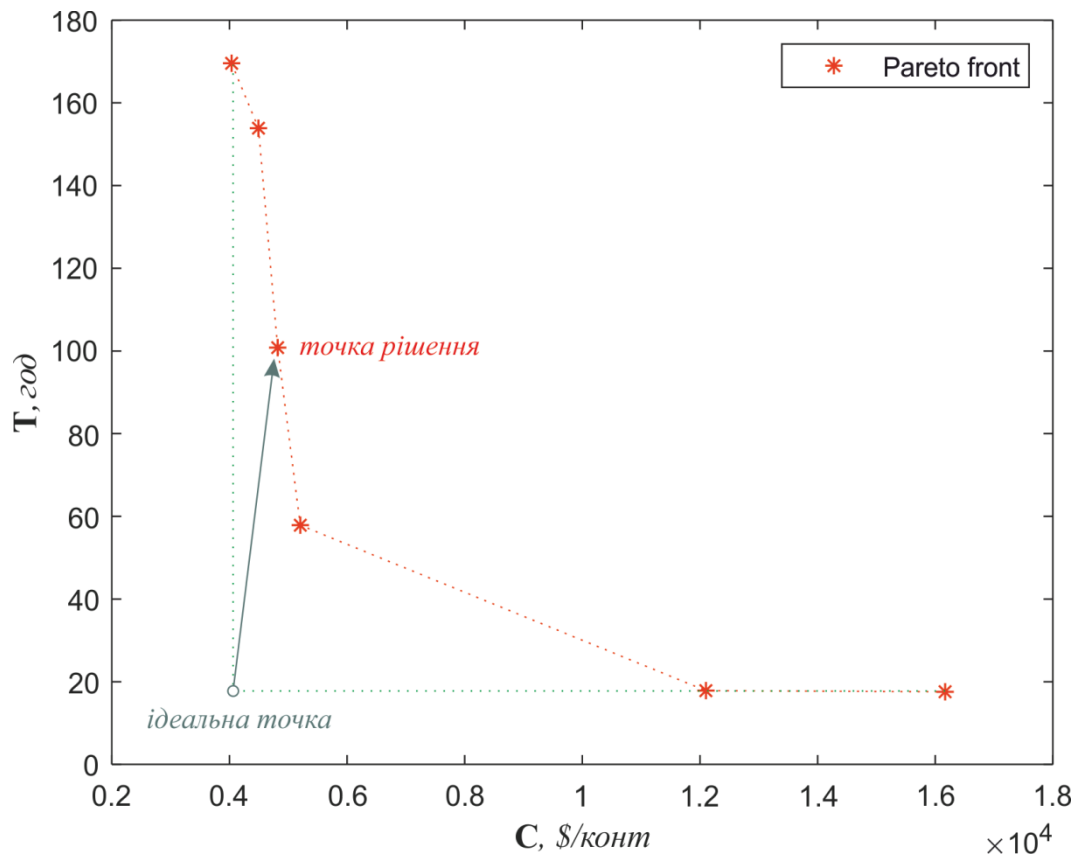


Рисунок 3.8 – Відстань між точкою рішення та ідеальною точкою

На основі сформованої моделі було створене програмне забезпечення у середовищі Matlab. Реалізація програми пошуку оптимального маршруту інтермодальних контейнерних перевезень на основі векторної оптимізації мовою Matlab наведено у додатку А.

На рисунку 3.9 показано оптимальний маршрут на графі транспортної мережі.

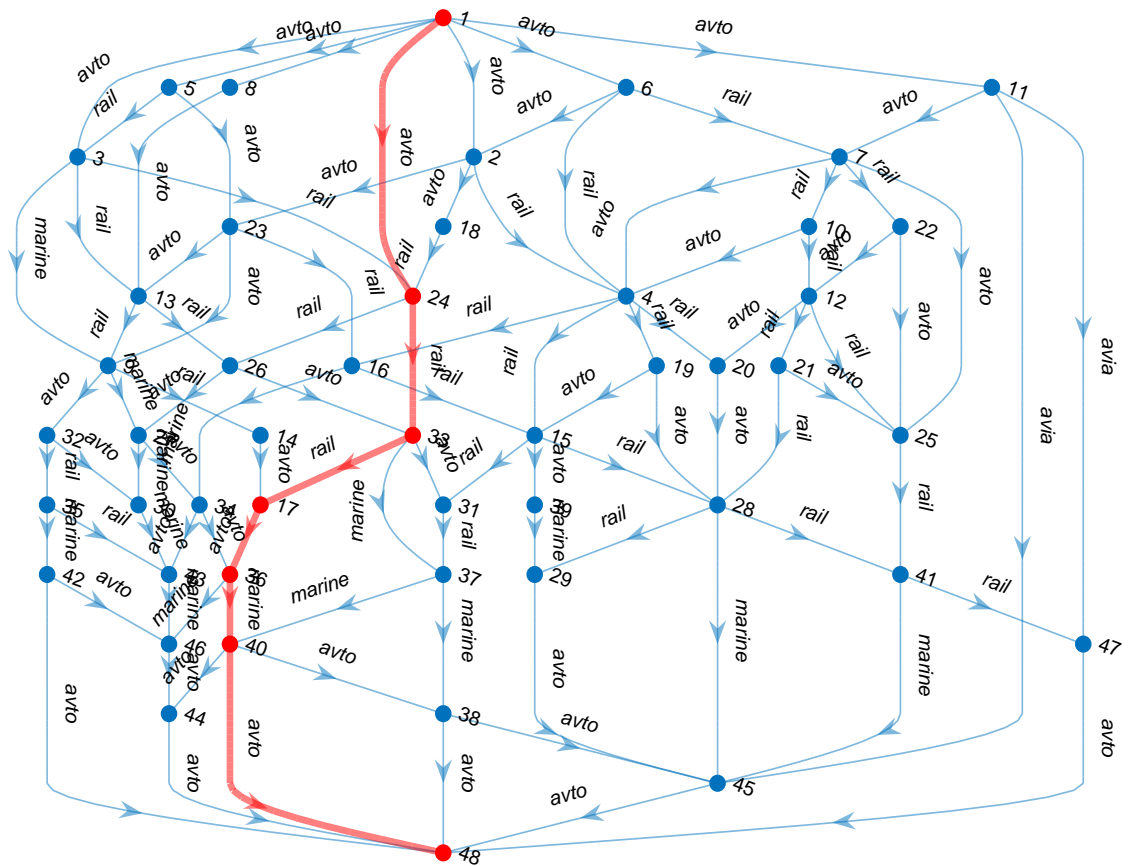


Рисунок 3.9 – Оптимальний маршрут інтермодального контейнерного перевезення на графі транспортної мережі

За результатами розрахунку довжина маршруту склала 2964 км, тривалість маршруту – 100,81 годин, а вартість перевезення одного контейнера склала 4818,74 доларів США. За оцінками експертів та проведеними розрахунками дана технологія забезпечить скорочення витрат інтермодальних операторів в середньому на 8% за умови її застосування на складних транспортних мережах та до 50% скорочення тривалості перевезення у порівнянні із традиційною технологією планування [8].

Розроблений метод виділення єдиного рішення на множині Парето дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій при виборі оптимального плану інтермодальних перевезень.

3.4 Висновки до розділу 3

1. Розроблена процедура визначення вибору транспортної технології дозволяє враховувати важливість тієї чи іншої складової критерію у кожний конкретний момент часу при прийнятті рішень. Запропонований критерій через його комплексний характер може бути використаний як для підвищення ефективності взаємодії автомобільного та залізничного транспорту, так і для інших видів транспорту.

2. Для чіткої організації перевізного процесу формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення вимог вантажовідправників у вигляді двокритеріальної математичної моделі планування інтермодальних контейнерних перевезень при одночасному врахуванні не лише довжини сегментів при визначенні маршруту, що відповідають різним видам транспорту, а й фактору часу.

3. Розроблена оптимізаційна модель відповідає компромісному рішенням щодо терміну та вартості доставки і дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи у якості вихідних даних топологію транспортної мережі та всю необхідну додаткову інформацію, яку представлено графовою структурою великої розмірності.

4. Розроблений метод виділення єдиного рішення на множині Парето дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій при виборі оптимального плану інтермодальних перевезень. За результатами розрахунку довжина маршруту склала 2964 км, тривалість маршруту – 100,81 годин, а вартість перевезення одного контейнера склала 4818,74 доларів США.

5. Результати моделювання підтверджують, що математична модель та розроблений метод її оптимізації, який полягає у послідовному використанні спеціалізованих засобів математичного апарату, дозволяють досягати поставленої мети і є раціональним вибором у якості основи автоматизованої

технології планування інтермодальних перевезень. Дана технологія забезпечить скорочення витрат інтермодальних операторів в середньому на 8 % за умови її застосування на складних транспортних мережах та до 50 % скорочення тривалості перевезення у порівнянні із традиційною технологією планування.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ ЩОДО ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ІНТЕРМОДАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

4.1 Загальні вимоги до побудови автоматизованого робочого місця

На сьогоднішній день в умовах складного динамічного середовища, що характеризується постійною невизначеністю та мінливістю політичних, економічних і соціальних факторів, основою успішного функціонування господарюючих суб'єктів є ухвалення адекватних управлінських рішень. Сучасні системи підтримки прийняття рішення (СППР) є системами, максимально пристосованими до вирішення задач повсякденної управлінської діяльності, і є інструментом, покликаним надати допомогу працівникам, що приймають оперативні рішення. Інтерес до СППР як до перспективного напрямку використання обчислювальної техніки і як до інструментарію підвищення ефективності праці у сфері управління залізничним транспортом постійно зростає. За допомогою систем підтримки прийняття рішень, в яких сконцентровані потужні методи математичного моделювання, теорії управління, інформаційних технологій, може здійснюватися вибір рішень деяких неструктурованих і слабоструктурованих задач, у тому числі й багатокритеріальних [126, 127].

Для вирішення завдання планування інтермодального перевезення необхідна розробка наступних блоків СППР: розділ бази знань, який зберігає суб'єктивну думку оперативного працівника про важливість показників ефективності в багатокритеріальній оптимізаційній задачі, математичне забезпечення СППР, з спеціалізованими алгоритмами оптимізації та база еволюційних підходів.

Система управління базою даних (СУБД) забезпечує задоволення інформаційних потреб СППР шляхом надання ЛПР та іншим функціональним модулям системи можливостей швидкого доступу до даних для отримання інформації, що використовується при прийнятті рішень.

Отже, на основі вищезазначеного можна зробити висновок про необхідність побудови СППР, яка буде відповідати наступним вимогам:

- стежити за відповідністю бази знань конкретним та вірним рішенням;
- володіти чіткою процедурою формування бази знань;
- надавати інформацію у зручному для користувача вигляді;
- видавати інформацію за прийнятний час;
- чітко роз'яснювати всі параметри та змінні, що використовуються;
- забезпечити зручний режим користувачеві;
- давати повне уявлення про можливості системи;
- забезпечити можливість взаємодії декількох взаємопов'язаних систем;
- забезпечити можливість автоматизованого програмування і управління системою;
- забезпечити можливість модифікації і перебудови системи відповідно до нових умов функціонування.

За допомогою системи підтримки прийняття рішень, в якій сконцентровано потужні методи математичного моделювання, теорії управління, інформаційних технологій, зосереджено потужний потенціал, який призначений для вирішення задачі планування інтермодальних перевезень.

4.2 Розроблення структури та процедури функціонування системи побудови оптимального плану інтермодальних перевезень

Вибираючи між альтернативними варіантами інтермодальних перевезень, слід шукати альтернативу, яка найбільш повно задовольняє комплексу критеріїв, як об'єктивних, так і є відображенням взаємних вимог суб'єктів

відносин, у даному випадку – це сторони договору перевезення. В той же час, дана альтернатива повинна бути більш стійкою до впливу чинників невизначеності зовнішнього середовища. До об'єктивних критеріїв слід віднести показники, що характеризують кожен окремий варіант перевезення конкретними числовими значеннями. Суб'єктивними критеріями, тобто вимогами клієнта і перевізника до перевезення є: з боку клієнта – надійність, безпека, своєчасність, повнота сервісу; з боку перевізника – прибутковість, рентабельність і т.д. На відміну від попередньої групи критеріїв не завжди можуть бути виражені в традиційних одиницях виміру, у зв'язку з тим, що їх числові значення скоріше виражають ступінь задоволеності суб'єкта, який їх пред'являє. У той же час, вибір оптимального плану інтермодального перевезення залежить також від впливу на результат перевезення показників, що відносяться до факторів невизначеності зовнішнього середовища. До числа таких факторів слід віднести такі як, наприклад: ризикованість маршруту, непередбачуваність поведінки субпідрядників і т.д.

Таке умовне розділення критеріїв на групи дозволяє більш адекватно визначити середньозважені коефіцієнти відносної важливості показників оптимальності (питома вага), що є однією з необхідних умов прийняття дійсно ефективного рішення. Перш за все, необхідно відзначити, що показники, умовно віднесені нами до групи об'єктивних, які багатьма дослідниками виділяються як домінуючі, пріоритетні показники, в умовах ринкової економіки, коли пропозиція значно перевищує попит безжально нівелюються. Таким чином, акт вибору оптимального варіанта вимагає також порівняння альтернатив за критеріями суб'єктивним (для прикладу це – повнота сервісу, надійність та ін. показники), які в деяких випадках слід вважати визначальними. При цьому вибір слід робити з безлічі варіантів, для яких значення об'єктивних показників лежить в межах допустимих меж.

Таким чином, сформулюємо основні цілі для кожного етапу процесу прийняття рішень, досягнення яких гарантовано забезпечить прийняття оптимального рішення (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Процес прийняття оптимального рішення

№	ЕТАП	МЕТА
1	Визначення проблеми або проблемної ситуації, постановка мети, рішення проблеми	Визначити проблемну ситуацію та провести її комплексний аналіз
2	Визначення факторів, обмежень і критеріїв, що впливають на прийняття рішення	Визначити фактори зовнішнього середовища та ступінь їхнього впливу на процес прийняття рішення, визначити критерії оптимальності, їх вагові характеристики та систему обмежень
3	Визначення кола допустимих альтернатив рішення	Визначити безліч можливих рішень, які потім звужується до безлічі допустимих рішень
4	Вибір оптимальної альтернативи з кола допустимих	Вибір оптимальної альтернативи

Слід зазначити, що контейнеропотік за своєю природою є непостійною величиною, тобто він може коливатися як у межах значного інтервалу часу (рік) так і в менших діапазонах (доба, декада, місяць). Це в свою чергу вимагає вирішення питання стратегічного та оперативного планування (в залежності від часового інтервалу коливань контейнеропотоку). За рахунок застосування інтелектуальних систем і обробки великих масивів даних здійснюється перехід від індивідуального планування, при якому неможливо побачити загальну картину доставки, до стратегічного планування, що дозволяє оцінити роботу різних видів транспорту в загальному аспекті функціонування транспортної системи.

Згідно з цим було сформовано структурну схему інформаційної взаємодії учасників інтермодального перевезення з автоматизованими системами країн-учасниць перевізного процесу (рисунок 4.1). Глобально сформована схема розділена на два рівні: перший рівень відповідає за стратегічне планування, а другий рівень відповідає за оперативне управління контейнеропотоками. З метою дотримання техніко-технологічної та інформаційної сумісності на основі

вимог сумісності передбачено взаємодію першого та другого рівнів з комплексом автоматизованих робочих місць всіх перевізників, які задіяні в інтермодальному перевезенні. Після отримання від замовника заявки на перевезення вантажу виконується оцінка стану завантаженості транспортної інфраструктури, визначається вибір варіанту перевезення з урахуванням прогнозу вантажопотоків відповідно до розробленої моделі в розділі 2. Такий підхід дозволяє досягти зниження витрат на доставку вантажів, а також забезпечити інтеграцію між споживачами (наприклад, торговими підприємствами) транспортних послуг і транспортними компаніями в єдиному інформаційному просторі. Інтелектуальна система оцінює потребу і здійснює формування електронної заявки відповідно до розробленої в 3 розділі оптимізаційна моделі, яка відповідає компромісному рішенням щодо терміну та вартості доставки і дозволяє адекватно відтворювати процес планування інтермодальних перевезень, використовуючи у якості вихідних даних топологію транспортної мережі та всю необхідну додаткову інформацію. Процес оперативного управління виконується при попаданні заявки на доставку вантажу в електронному вигляді у транспортну систему, яка задіяна в інтермодальному перевезенні.

Такий підхід щодо формування системи інформаційної взаємодії в функціональну інформаційно-керуючу систему дозволяє у повному обсязі реалізувати розподілену систему підтримки прийняття рішень оперативного персоналу, який безпосередньо пов'язаний з просуванням контейнеропотоків при інтермодальному перевезенні.

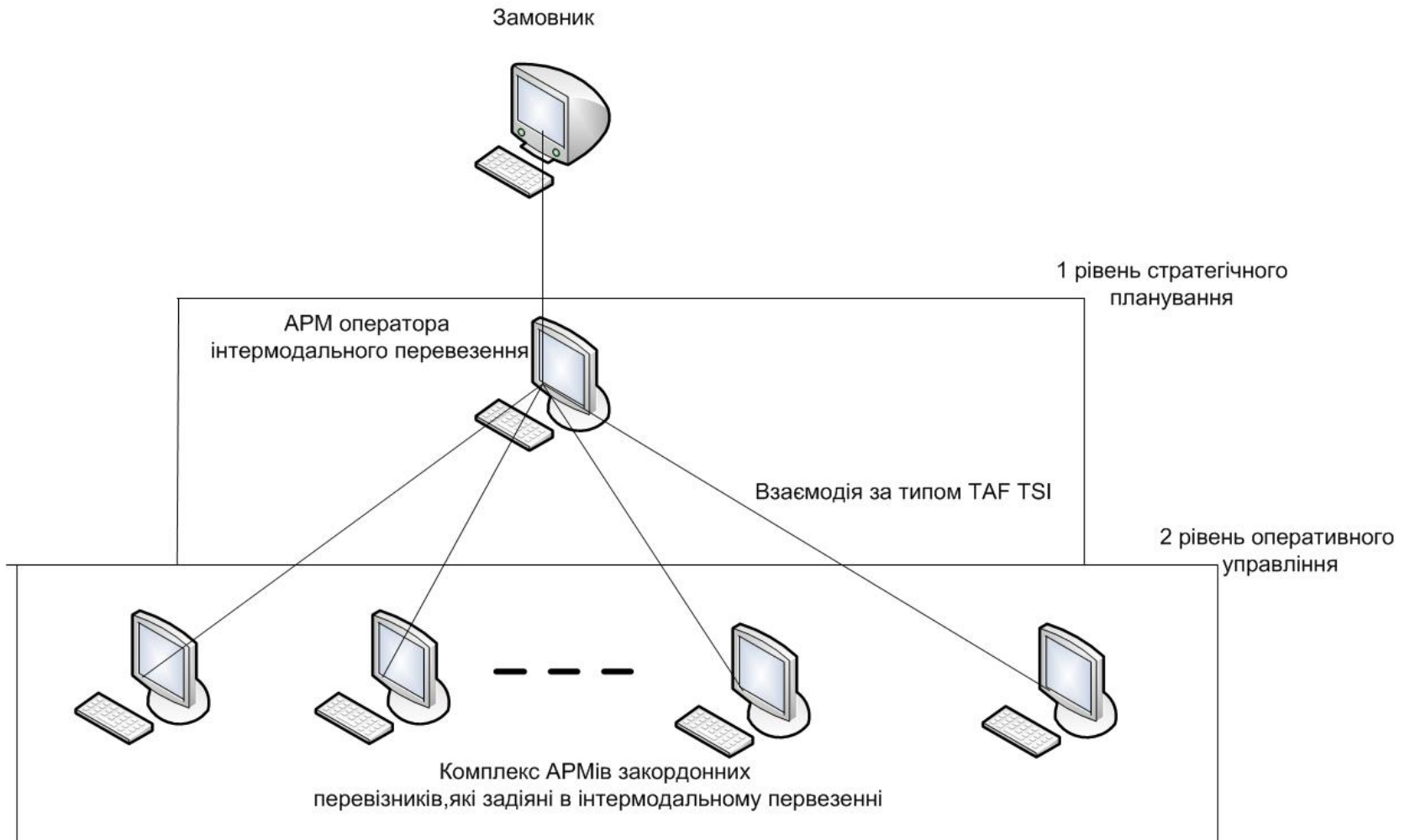


Рисунок 4.1 – Структурна схема інформаційної взаємодії учасників інтермодального перевезення

4.3 Розроблення інтерфейсу для програмної реалізації АРМ інтермодального оператора

З метою підвищення оперативності та достовірності наданої інформації, а також для якісної та ефективної роботи залізниці в цілому необхідно розробити АРМ інтермодального оператора. На основі комплексу розроблених математичних моделей створено систему підтримки прийняття рішень для взаємодії із різними транспортними системами, які задіяні під час інтермодальних перевезень, та запропоновано інтегрувати її до АРМ інтермодального оператора для забезпечення узгодженої роботи усього процесу транспортування.

Для оптимізації роботи розроблена візуалізація АРМ інтермодального оператора в операційному середовищі Microsoft Windows. Робота з системою виконується за допомогою спеціального інтерфейсу (рисунок 4.2, рисунок 4.3, рисунок 4.4). Отже, спочатку оператор вносить до системи у відповідні графи інформацію, яку отримує безпосередньо від замовника перевезення (рисунок 4.2). На наступному етапі автоматизована система визначає рекомендовані маршрути перевезення та можливі пункти перевалки вантажу (рисунок 4.3). Для того щоб обрати відповідний спосіб транспортування системі необхідно розрахувати вартість і термін доставки по всіх маршрутах. Система враховує завантаженість транспортної інфраструктури кожного регіону на маршруті проходження. Це дозволяє використовувати в кожному регіоні найбільш швидкий, надійний і економічний вид транспорту, що дозволять знизити витрати і час транспортування.

Виходячи із отриманих даних про перевезення система вибирає оптимальний маршрут, визначаючи головні показники перевезення для клієнта, а саме: термін доставки та вартість перевезення (рисунок 4.4).

Встановлення розробленої автоматизованої системи передбачається на автоматизованому робочому місці оператора для забезпечення узгодженої роботи усього процесу перевезення.

Operator

Пошук

Вантажі та Транспорт

УКР Help Вихід

Найменування вантажу: Додати ...

Маса вантажу, т:

Об'єм вантажу, куб.м:

Маршрут

Країна відправлення:

Область, регіон, штат:

Пункт приймання вантажу (адреса):

Відправник (повне найменування):

Вибір оператора:

Дата: від до

Країна призначення:

Область, регіон, штат:

Пункт доставки вантажу (адреса):

Одержувач (повне найменування):

Додаткова інформація:

Наприклад: бажана дата навантаження, перевантаження; маршрут перевезення; габарити вантажу; документи та інше.

Далі

Рисунок 4.2 – Фрагмент інтерфейсу АРМ інтермодального оператора
(Діалогове вікно 1)

Operator

Рекомендовані маршрути перевезення

1. Детально

2. Детально

3. Детально

Можливі пункти перевалки

1.

2.

3.

4.

5.

Далі Скасувати

Рисунок 4.3 – Фрагмент інтерфейсу АРМ інтермодального оператора
(Діалогове вікно 2)

Дані про перевезення			
Оператор		Дата	20.02.2020
Клієнт		Договір	№15 від 20.02.2020
Найменування вантажу		Валюта	USD
Країна та місце призначення		Сума	1,879.00
Країна та місце відправлення			
Оптимальний маршрут		Необхідна кількість :	
Час у дорозі, доб.		вагонів/контейнерів	
Відстань, км		автомобілів	
		суден	
		літаків	
		Далі	Скасувати

Рисунок 4.4 – Фрагмент інтерфейсу АРМ інтермодального оператора
(Діалогове вікно 3)

Реалізація запропонованої системи дає змогу укласти договори на перевезення вантажів, робити облік взаєморозрахунків з клієнтами та партнерами.

На основі сформованого процесу прийняття рішень в роботі запропонована технологія з прийняття управлінських рішень оператором в системі інтермодальних перевезень. Технологія представляє собою універсальний інструмент, застосування АРМ дозволяє приймати зважені управлінські рішення, пов'язані з організацією процесу інтермодальних перевезень вантажів.

Система підтримки прийняття рішень АРМ інтермодального оператора сприяє скороченню витрат на виконання робіт з організації перевезень і фінансового обліку; поліпшенню якості виконуваних робіт і оперативності прийнятих управлінських рішень, виключає грубі помилки людського фактору.

4.4 Визначення економічної доцільності запропонованої технології

Економічний ефект від впровадження інформаційної технології АРМ інтермодального оператора буде виникати за рахунок швидкості реагування на задоволення потреб клієнта, привабливості тарифів та оптимального терміну доставки вантажів.

Вихідні дані:

1. Впровадження функціонування в системі АРМ інтермодального оператора передбачено в 2020 р.;
2. Для впровадження системи АРМ інтермодального оператора необхідними є одноразові витрати (таблиця 4.2);
3. Розрахунки наведено для маршруту Пекін – Київ;
4. Середньорічна ставка комерційного банку по депозитним внескам – 14 %;
5. Очікуваний середньорічний процент інфляції в період 2020-2024 рр. – 8 %;
6. Ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту 1 %;
7. За розрахунковий прийнято перший рік життєвого циклу товару.

Таблиця 4.2 – Одноразові витрати від впровадження АРМ інтермодального оператора

Найменування витрат	Вартість одиниці, грн	Кількість, одиниць	Витрати, грн
Розроблення та впровадження необхідного програмного забезпечення	35 000	1	35 000
Витрати на підготовку кадрів та підвищення кваліфікації	10 000	1	10 000
Витрати на обчислювальну техніку	20 000	1	20 000
Всього			65 000

Сукупний економічний ефект визначається як сума річних економічних ефектів за розрахунковий період з обов'язковим урахуванням фактору часу (дисконтуванням грошових потоків) за формулою

$$E_t = \sum_{t=1}^n (P_t - B_t) \alpha_t, \quad (4.1)$$

де P_t – вартісна оцінка результатів здійснення проекту за розрахунковий період, грн;

B_t – вартісна оцінка витрат на здійснення проекту за розрахунковий період, грн;

α_t – коефіцієнт приведення результатів та витрат до розрахункового року.

Визначення економічного ефекту проводиться при умові обов'язкового приведення вартісних оцінок результатів та витрат різних років до єдиного для всіх варіантів реалізації проекту моменту часу – розрахункового року t .

Приведення результатів та витрат різних років періоду реалізації проекту до розрахункового року здійснюється множенням їх вартісної оцінки за кожний рік на коефіцієнт приведення α_t , що відповідає даному року.

Результати та витрати різних років приводяться до першого року впровадження функціонування АРМ інтермодального оператора, тобто визначаються за допомогою дисконтування.

Коефіцієнт приведення визначається [128]

$$\alpha_t = \frac{1}{[(1+E)(1+I+R)]^{t-t_p}}, \quad (4.2)$$

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

R – ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту, в частках одиниці;

I – річний рівень інфляції, що прогнозується на період здійснення проекту;

t – порядковий номер року, грошові потоки якого приводяться до розрахункового року;

t_p – порядковий номер розрахункового року.

Коефіцієнт приведення за різними роками інноваційного проекту визначається:

$$\alpha_{2020} = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,01 + 0,08)]^0} = 1;$$

$$\alpha_{2021} = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,01 + 0,08)]^1} = 0,805;$$

$$\alpha_{2022} = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,01 + 0,08)]^2} = 0,648;$$

$$\alpha_{2023} = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,01 + 0,08)]^3} = 0,521;$$

$$\alpha_{2024} = \frac{1}{[(1 + 0,14)(1 + 0,01 + 0,08)]^4} = 0,419.$$

Розрахунок сукупного приросту економічного ефекту від впровадження функціонування оператора в системі АРМ інтермодального оператора за маршрутом Пекін – Київ наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Визначення величини сукупного економічного ефекту від функціонування інтермодального оператора

Показник	2020	2021	2022	2023	2024
1. Доходи оператора, тис. грн	2000	2000	2000	2 000	2000
2. Одноразові витрати, тис. грн	65	-	-	-	-
3. Плата за перевезення, тис. грн	148,25	148,25	148,25	148,25	148,25
4. Поточні витрати, тис. грн	500	500	500	500	500
5. Всього витрат, тис. грн	713,25	648,25	648,25	648,25	648,25
6. Економічний ефект, тис. грн	1286,75	1351,75	1351,75	1351,75	1351,75
7. Коефіцієнт приведення до розрахункового року	1,000	0,805	0,648	0,521	0,419
8. Економічний ефект з урахуванням приведення, тис. грн	1286,750	1088,159	875,934	7042,618	566,383
9. Економічний ефект з наростаючим підсумком, тис. грн	1286,750	2374,909	3250,848	3955,104	4521,488

Коефіцієнт загальної рентабельності проекту $P_{заг}$ визначається, як частка від поділу суми приведених результатів на суму приведених витрат з урахуванням зміни вартості грошей у часі [128]:

$$P_{заг} = \frac{\sum_{t=1}^n P_t \cdot \alpha_t}{\sum_{t=1}^n B_t \cdot \alpha_t}, \quad (4.3)$$

Коефіцієнт загальної рентабельності від функціонування складає

$$P_{заг1} = \frac{2000000 + 1610000 + 1296000 + 1042000 + 838000}{713250 + 521841 + 420066 + 337738 + 271617} \approx 3.$$

Коефіцієнт загальної рентабельності клієнта від користування послугами

$$P_{заг2} = \frac{25837625}{688250 \cdot 21,5} \approx 1,75.$$

Отримане значення коефіцієнту загальної рентабельності вище одиниці, що свідчить про економічну доцільність впровадження запропонованої технології.

Економічне обґрунтування запропонованих заходів доводить, що при впровадженні запропонованої технології на основі автоматизації робочого місця інтермодального оператора економічна ефективність з наростаючим підсумком на певному маршруті за період 2020-2024 рр. становить 4521488 грн.

4.5 Висновки до розділу 4

1. На сьогоднішній день в умовах складного динамічного середовища, що характеризується постійною невизначеністю та мінливістю політичних, економічних і соціальних факторів, основою успішного функціонування господарюючих суб'єктів є ухвалення адекватних управлінських рішень. Сучасні системи підтримки прийняття рішення є системами, максимально пристосованими до вирішення задач повсякденної управлінської діяльності, і є інструментом, покликаним надати допомогу працівникам, що приймають оперативні рішення.

2. Для підвищення функціонування транспортної мережі запропоновано впровадження АРМ інтермодального оператора, що взаємодіє з різними транспортними системами, до якого інтегровано комплекс розроблених математичних моделей.

3. Автоматизоване робоче місце дасть можливість інтермодальному оператору сформувати оптимальний план перевезення контейнерів, який враховує часи затримок під час передачі вантажу від одного транспортного підприємства до іншого та вимоги клієнта щодо вартості перевезення і терміну доставки.

4. Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів. Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком на певному маршруті дало можливість отримати 4521488 грн на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання з формування автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями, яке дає можливість оператору інтермодального перевезення приймати обґрунтовані рішення про вибір плану перевезення з урахуванням вимог клієнта щодо вартості перевезення, терміну доставки та часів затримок під час передачі вантажу від однієї транспортної мережі до іншої.

Отримані результати дають підстави сформулювати такі висновки:

1. Аналіз статистичних даних функціонування транспортних систем світу і ролі та значення інтермодальних перевезень у реалізації транспортного потенціалу України дозволили зробити висновок, що інтермодальні перевезення вантажів є однією з найважливіших транспортних складових світового та національного значення, що сприяють ефективній взаємодії різних транспортних систем при наданні якісних послуг сучасного формату. Більшість досліджень зводиться до мінімізації експлуатаційних витрат при перевезеннях, але в сучасних умовах виникає необхідність у розробленні гнучкої автоматизованої технології інтермодальних перевезень за двома критеріями (експлуатаційні витрати і термін доставки), різними за своєю природою.

2. Сформовано процедуру визначення завантаженості інфраструктури транспортної мережі при організації інтермодального перевезення за рахунок прогнозування обсягів перевезення з використанням нейро-нечіткого моделювання на основі моделі ANFIS (англ. Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System). Цей спосіб прогнозування має високі властивості адаптації до змінних вхідних даних за рахунок самонавчання. Якість і надійність прогнозованої нейро-нечіткої моделі визначено через значення середньої помилки прогнозу, яка склала 4,86 % фактичних значень обсягів перевезення вантажів, що свідчить про високу точність прогнозування. Враховуючи, що інтермодальні перевезення вантажів є досить інерційною системою, такий показник є достатнім для прийняття управлінських рішень. Це у свою чергу дасть змогу за

необхідності коригувати маршрут доставки. Результати моделювання враховуються при розробці оптимізаційної математичної моделі управління інтермодальними перевезеннями вантажів.

3. Для планування інтермодальних контейнерних перевезень формалізовано технологічний процес просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення основних вимог вантажовідправників у вигляді оптимальної двокритеріальної математичної моделі планування інтермодальних контейнерних перевезень при одночасному врахуванні не лише вартості перевезення, а й фактора часу.

4. Для побудови оптимального плану інтермодальних перевезень розроблено метод виділення єдиного рішення на множині Парето, який дозволяє враховувати пріоритети вантажовідправника шляхом використання зважених стрес-функцій (англ. Weighted Stress Function Method, WSFM).

5. Сформовано АРМ інтермодального оператора, що взаємодіє з різними транспортними системами, до якого інтегровано комплекс розроблених математичних моделей. Автоматизоване робоче місце дасть можливість інтермодальному оператору сформулювати оптимальний план перевезення контейнерів, який враховує часи затримок під час передачі вантажу від одного транспортного підприємства до іншого та вимоги клієнта щодо вартості перевезення і терміну доставки.

6. Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів у середньому на 8 % за умови застосування її на складних транспортних мережах та до 50 % скорочення тривалості перевезення порівняно з традиційною технологією планування. Визначення економічного ефекту з наростаючим підсумком на певному маршруті дало можливість отримати 4521488 грн на п'ятий рік застосування запропонованої автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень. Такий показник підтверджує доцільність впровадження запропонованої технології в економічному відношенні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 134. С. 37–42.
2. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. Вип. 1. С. 41–46.
3. Шапатіна О. О. Визначення сфери ефективності бімодальних перевезень. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 135–141.
4. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Вибір кількості типів технічних залізничних засобів для інтермодальних перевезень. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2014. Вип. 24. С. 202–207.
5. Шапатіна О.О. Вибір виду перевезень вантажів з використанням положень теорії нечітких множин. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 139–143.
6. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Удосконалення процесу комбінованих перевезень вантажів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. Вип. 4/3(70). С. 4–8.
7. Panchenko S., Lavrukhin O., Shapatina O. Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 1, № 3(85). P. 39–45. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92203.
8. Бутько Т. В., Костєнніков О. М., Прохоров В. М., Шапатіна О. О. Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень на

основі векторної оптимізації. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 188. С. 71-85.

9. Lavrukhin O., Zapara V., Zapara Y., Shapatina O., Bogomazova G. Investigation into the bimodal transportation process by modelling rail module states. *Transport Problems*. 2017. Vol. 12. Issue 2. P. 99–112. DOI: 10.20858/tp.2017.12.2.10.

10. Шапатіна О. О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті*: тези доповідей VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 11-13 жовтня 2012 р.). Київ: ДЕТУТ, 2012. С. 292–293.

11. Шапатіна О. О. Шляхи підвищення конкурентоспроможності комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2013 р.). Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 399–400.

12. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*: тези доповідей 73-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.). Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2013. С. 174–175.

13. Шапатіна О. О. Оцінка ефективності бімодальних перевезень. *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті*: тези доповідей VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 8-11 жовтня 2013 р.). Київ: ДЕТУТ, 2013. С. 340–341.

14. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Перевезення вантажів комбінованим транспортом. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2014 р.). Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 305–306.

15. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Ефективність комбінованих перевезень вантажів у міжнародних транспортних коридорах. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики: тези доповідей X міжнар. наук.-практ. конф.* (Харків, 5-7 червня 2014 р.). Вісник економіки транспорту і промисловості.. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 20.

16. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Обґрунтування вибору кількості типів технічних засобів для інтермодальних перевезень. *Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития, 2014: тези доповідей Міжнар.наук.-практ. конф.* (Одеса, 1-12 жовтня 2014 р.). Сборник научных трудов SWorld. Одеса: Одеський нац. морський ун-т, 2014. Вип. 3 (36). С. 20–21.

17. Шапатіна О. О. Обґрунтування оптимальної кількості варіантів транспортних засобів комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф.* (Харків, 21-23 квітня 2015 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 151. С. 148.

18. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Світлична А. В. Ефективність впровадження комбінованих перевезень в Україні. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф.* (Харків, 26-28 квітня 2016 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 130.

19. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О. Обґрунтування ефективності бімодальних перевезень вантажів. *Проблеми розвитку транспорту і логістики: тези доповідей VII міжнар. наук.-практ. конф.* (Сєверодонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.). Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Одеського національного морського університету. Сєверодонецьк-Одеса: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Одес. нац. морський ун-т, 2017. С. 94–95.

20. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Удосконалення роботи залізничного транспорту при застосуванні комбінованих перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 26-27 жовтня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 4 (додаток). С. 41.

21. Шапатіна О. О. Шляхи покращення комбінованих перевезень вантажів на основі формування комплексного критерію ефективності. *Технології та інфраструктура транспорту*: тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14-16 травня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 244–246.

22. Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Ефективність комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-26 квітня 2018 р.). Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 137.

23. Костенніков О. М., Шапатіна О. О. Удосконалення організації інтермодальних контейнерних перевезень на основі інтегрального показника надійності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників конференції (Харків, 24-25 жовтня 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 4 (додаток). С. 61.

24. Костенніков О. М., Шапатіна О. О., Кравець А. Л., Кім К. В. Пропозиції щодо підвищення якості транспортних послуг за рахунок удосконалення технології інтермодальних перевезень. *Інтелектуальні транспортні технології*: тези доповідей I Міжнар. наук.-техн. конф. (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 62-63.

25. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Обґрунтування вибору виду транспортних перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 1/2 (6). С. 25–29. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.35904.

26. Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Пошук оптимальної кількості варіантів транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 4/2 (9). С. 32–36. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40226.

27. Спосіб перевезення негабаритних і великовагових вантажів на зчепленні універсальних залізничних платформ: пат. 101721 Україна, МПК(2006.01) B61D 3/10, B61D 3/16, B60P 3/40. №a201109498; заявл. 28.07.11; опубл. 25.04.13, Бюл. № 8. 5 с.

28. Спосіб перевезення вантажів залізничним вагоном та його розвантаження на роторному вагоноперекидачі: пат. 119656 Україна, МПК(2017.01) B61F 1/06, B60S 11/00, B65G 67/34, B65G 63/00, B61D 47/00. №a201304011; заявл. 01.04.13, опубл. 10.10.17, Бюл. № 19. 6 с.

29. Демин Ю. В., Кирпа Г. Н., Пшинько А. Н., Савчук О. М., Степанов В. В. Проблемы бесперегрузочных и комбинированных перевозок. *Залізничний транспорт України*. 1998. Вип. 1 (4-5). С.37–42.

30. Мережа міжнародних транспортних коридорів на території України. URL: <http://mtu.gov.ua/uk/show/transports.html> (дата звернення: 11.09.2015).

31. Вантажні перевезення. Загальна інформація. URL: <http://www.utlc-uz.com.ua/cargo.html> (дата звернення: 11.09.2015).

32. Публікація документів Державної Служби Статистики України. Держстат України, 1998-2019. URL: <http://ukrstat.org/> (дата звернення 10.08.2019).

33. Забезпечення конкурентоспроможності та якості транспортних послуг для економіки. URL: <http://allrefs.net/c1/49cdw/p6/> (дата звернення 11.09.2015).

34. Дьомін Ю. В., Терещак Ю. В. Шляхи розвитку міжнародних перевезень на основі безперевантажувальних технологій. *Залізничний транспорт України*. 2009. Вип. 1. С. 3–6.

35. Обсяги контейнерних перевезень залізницею зросли на 10% у 2017 році. URL: <https://www.unn.com.ua/uk/news/1712608-obsyagi-konteynernih-perevezen-zaloznitseyu-zrosli-na-10-u-2017-rotsi>

36. Перевезення контейнерів територією України за 4 місяці 2019 року зросли на 8 %. URL:

https://www.uz.gov.ua/press_center/up_to_date_topic/495593/ (дата звернення: 10.08.2019).

37. Алькаев В. Перевозки грузов ускоренными контейнерными поездами. *Бюлл. ОСЖД*. 2000. Вып. 3. С. 14–17.

38. Россберг Р. Технические средства для смешанных перевозок. *Железные дороги мира*. 1991. Вып. 9. С. 7–12.

39. History Under Construction. URL: <http://www.trainweb.org/roadrailer/ТСВРHist.htm> (дата звернення: 11.09.2015).

40. Донченко А. В., Троцкий М. В., Крупа А. Г. Подвижной состав бимодальной системы перевозок грузов в специальных транспортных средствах. *Вагонный парк*. 2008. Вып. 11. С. 31–33.

41. Пшинько А. Н., Мямлин С. В., Козаченко Д. Н., Фоскетт Ч., Грааф В. Бимодальные технологии для обслуживания агропромышленного комплекса: тезисы 2 международной научно-практической конференции «Интеграция Украины в международную транспортную систему». Днепропетровск: ДНУЖТ, 2010. С. 50–51.

42. Intermodal/Container. URL: <https://www.truckpaper.com/listings/trailers/for-sale/list/category/803/intermodal-container-chassis-only> (дата звернення: 10.08.2019).

43. Система смешанных перевозок «RoadRailer». *Железные дороги мира*. 1993. Вып. 6. С. 72–74.

44. Кузьмин А. С. Комбинированные грузовые перевозки как средство реабилитации железнодорожного транспорта. *Экспресс-информация*. 2005. Вып. 3. С.1–15.

45. Бимодальные перевозки. URL: http://railway.trans-atlas.net/rus/bimodal_transportation/ (дата звернення: 11.09.2015).

46. Система смешанных перевозок «KombiTrailer». *Железные дороги мира*. 1993. Вып. 1. С. 32–36.

47. Донченко А. В., Троцкий М. В., Крупа А. Г. Подвижной состав бимодальной системы перевозок грузов в специальных транспортных средствах. *Вагонный парк*. 2008. Вып. 11. С. 31–33.
48. UK Specialist Truck and Trailer Center, we buy and sell used trucks URL: <http://www.evsuk.com/transtrailers.php> (дата звернення: 11.09.2015).
49. Огороков А. М. Аналіз перспектив розвитку ринку контейнерних перевезень в Україні. *Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна. Серія «Транспортні системи і технології перевезень»*. 2015. Вып. 10. С. 98–104.
50. Seidelmann Ch. Basic results of BIC study on European Intermodal loading units. *Containers*. 2004. Vol. 1–2. P. 12–15.
51. Авдеев С. Комбинированный транспорт–реальность завтрашнего дня? *Українські залізниці*. 2014. Вып. 1(7). С. 30–32.
52. Carriere B. Rail-route. Une part encore tres reduite du trafic. *La Vie du Rail*. 2001. Vol. 205. P. 22–23.
53. Dărăban S., Ștefănescu P., Crisan P. Economic Benefits of Developing Intermodal Transport in the European Union. *Annals of the University of Oradea: Economic Science*. 2012. Vol. 1(2). P. 81–87.
54. Котенко А. М., Шилаєв П. С. Інтермодальні перевезення. Перспективи розвитку. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2009. Вып. 54. С. 31–36.
55. Котенко А. М., Шевченко В. І., Шилаєв П. С. Математичне моделювання руху комбінованих поїздів. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2010. Вып. 113. С. 19–23.
56. Tadić S., Zečević S. Development of Intermodal Transport and Logistics in Serbia. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*. 2012. Vol. 2(4). P. 380–390.
57. Havenga Jan H., Simpson Z., Fourie P. F., A. de. Bod. Sustainable Freight Transport In South Africa: Domestic Intermodal Solutions. *Journal of Transport and Supply Chain Management*. 2011. Vol. 5(1). P. 149–169.

58. Marinov M. Rail and Multimodal Freight: A Problem–Oriented Survey (Part II–1). *Transport Problems: International Scientific Journal*. 2009. Vol. 4(2). P. 73–83.
59. Marinov M. Rail and Multimodal Freight: A Problem–Oriented Survey (Part II–2). *Transport Problems: International Scientific Journal*. 2009. Vol. 4(3/1). P.79–87.
60. Islam D. M. Z. Barriers to and enablers for European rail freight transport for integrated door-to-door logistics service. Part 1: Barriers to multimodal rail freight transport. *Transport Problems: International Scientific Journal*. 2014. Vol. 9(3). P.43–56.
61. Islam D. M. Z. Barriers to and enablers for European rail freight transport for integrated door-to-door logistics service. Part 2: Enablers for multimodal rail freight transport. *Transport Problems: International Scientific Journal*. 2014. Vol. 9(4). P. 6–13.
62. Mindur L., Hajdul M. The Concept of Intermodal Network Development in Poland Using Multi-Agent Systems. *Transport Problems: International Scientific Journal*. 2011. Vol. 6(3). P. 5–16.
63. Nobbe A., Molinari M., Mistrangelo D., Keese T. Metrocargo: ein innovatives Konzept für intermodalen Gütertransport von Tür zu Tür. *Eisenbahntechnische Rundschau*. 2012. Vol. 3. P. 26–28.
64. Marinov M., Tom Zunder T., Mortimer P. Rail Freight Services, Policy and Practice. *World Transport, Policy & Practice*. Apr. 2012. Vol. 18.2. P. 30-38.
65. Analysis of rail yard and terminal performances/ M. Marinov [et al.]/ *Journal of Transport Literature*. 2014, Apr. Vol. 8. P. 178-200.
66. Performance Analysis on Transfer Platforms in Frame Bridge Based Automated Container Terminals/ H. Hu [et al.]/*Mathematical Problems in Engineering*. 2013. Vol. 2013. P. 8.
67. Нагорний Є. В., Наумов В. С., Вітер Н. С. Аналіз основних етапів розвитку контейнерних перевезень. *Автомобильный транспорт*. 2010. Вып. 26. С. 85-90.

68. Підлісний П. І., Паткевич Н. О., Цветов Ю. В. Роль контейнеризації змішаних вантажних перевезень у розвитку світової торгівлі. *Економічний форум*. 2016. Вип. 3. С. 67-81.
69. Вернигора Р. В., Огороков А. М., Цупров П. С., Рустамов Р. Ш. Перспективи експортних перевезень зернових вантажів у контейнерах. *Транспортні системи та технології перевезень. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2018. Вип. 16. С. 22-30.
70. Вернигора Р. В., Огороков А. М., Цупров П. С., Павленко О. І. Мультиmodalні перевезення як базовий сегмент транзитного потенціалу України. *Транспортные системы и технологии перевозок*, 2017. Вип. 14. С. 20-29.
71. Козаченко Д. М., Рустамов Р. Ш., Матвієнко Х. В. Напрямки підвищення ефективності перевезень зернових вантажів залізничним транспортом. *Транспортні системи та технології перевезень. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2013. Вип. 6. С. 56–60.
72. Коробйова Р. Г., Рустамов Р. Ш., Гревцов С. В. Внедрение бимодальных технологий перевозки зерновых грузов в Украине. *Транспортні системи та технології перевезень. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна*. 2015. Вип. 9. С. 29–34.
73. Congli Hao, Yixiang Yue. Optimization on Combination of Transport Routes and Modes on Dynamic Programming for a Container Multimodal Transport System. *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 137. P. 382–390.
74. Ruger B. Kombiniertes Verkehr als Rettung des Schienengüterverkehrs. *Technische Universität Wien (Institut für Eisenbahnwesen, Verkehrswirtschaft und Seilbahnen)*. 2003. Vol. 5. P. 1–27.
75. Blaze J., Zarembski A. Lessons from the North American Rail. Intermodal Experience. *Rail International*. 2004. Vol. 5. P. 14–22.
76. Seidelmann Ch. Zur Wirtschaftlichkeit bimodaler Transportsysteme. *Internationales Verkehrswesen*. 1992. Vol. 4. P. 106–111.

77. Kaderavek P. RailRunner Looks to Europe. *Railvolution*. 2012. Vol. 4/12. P. 126.
78. Diomin J. W. Techniczne problemy przewozów kolejowych Wschód – Zachód. *Przegląd Komunikacyjny*. 2008. Vol. 6. P. 3–7.
79. Пшінько О. М., Мямлін С. В., Коробйова Р. Г., Козаченко Д. М., Фоскетт Ч. Можливості впровадження бімодальних технологій перевезень контейнерів на транспортного ринку України. *Вагонний парк*. 2011. Вип. 2. С. 46–48.
80. Кирпа, Г. Н., Демин, Ю. В. О возможных путях развития комбинированных перевозок грузов на Украине. Труды ЗНЦ ТАУ. Проектирование, производство и эксплуатация автотранспортных средств, том 2, Львов, 1995. С.64-66.
81. Автоматизация контейнерных перевозок. URL: http://korabley.net/news/avtomatizacija_kontejnerykh_perevozok/2012-04-23-1177 (дата звернення 10.08.2019).
82. Автоматизированная система управления контейнерными перевозками (ДИСКОН). URL: <https://poznayka.org/s11186t1.html> (дата звернення 10.08.2019).
83. Автоматизация управления контейнерными перевозками. URL: <https://helpiks.org/9-40517.html> (дата звернення 10.08.2019).
84. Мамонтов И. Ю. Современные технологии и устройства оптимизации терминальной деятельности. URL: <http://www.be5.biz/ekonomika1/r2012/1511.htm> (дата звернення: 10.08.2019).
85. Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European journal of operational research*. 2014, Jun. Vol. 235 (2). P. 412–430.
86. Carlo H. J., Vis I. F. A., Roodbergen K. J. Transport operations in container terminals: Literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European journal of operational research*. 2014, Jul. Vol. 236 (1). P. 1–13.

87. Gantry crane scheduling with interference constraints in railway container terminals/ P. Guo [et al]/ *International Journal of computational intelligence systems*. 2013. Vol. 6. P. 244-260.

88. Обзор рынка контейнерного тоннажа в 3 квартале 2017 года (часть 2). URL: <https://sudohodstvo.org/en-overview-of-container-tonnage-market-in-3d-quarter-of-2017-part-2/>(дата звернення: 10.08.2019).

89. Десятка крупнейших портов мира повысила контейнерооборот на 4,3 %. URL: https://www.korabel.ru/news/comments/v_kaspiyskom_bassejne_gruзоoborot_uvelichilsya_na_20_8.html (дата звернення: 10.08.2019).

90. Шанхай сохранил первенство в качестве самого загруженного контейнерного порта в мире – по итогам 2019 года. URL: <https://seanews.ru/2020/01/17/ru-kontejnerooborot-liderov-14/> (дата звернення: 10.08.2019).

91. Контейнерооборот порта Антверпен вырос в январе–сентябре 2019 года на 6 %. URL: <http://infranews.ru/logistika/more/55048-kontejnerooborot-porta-antwerpen-vyros-v-yanvare-sentyabre-2019-goda-na-6/> (дата звернення: 10.08.2019).

92. Громова Н. М., Громова Н. И. Основы экономического прогнозирования: учеб. пособие. М.: Акад. Естествознания, 2006. 457 с.

93. Басовский Л. Е. Прогнозирование и планирование в условия рынка: учеб. пособие. М.:ИНФРА-М, 2011. 260 с.

94. Смирнова Ю. А. Метод Дельфи, как инструмент эффективного стратегического планирования и управления. *Электронный вестник Ростовского социально-экономического института*. 2015. Вып. 3-4. С. 954–960.

95. Гаркуша Н. М., Цуканова О. В., Горошанська О. О. Моделі і методи прийняття рішень в аналізі та аудиті: навч. посіб. 2-ге вид. К., 2012. 591 с.

96. Бокс Дж., Дженкинс Г. М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Москва, 1974. 405 с.

97. Mazengia, D. H. Forecasting spot electricity market prices using time series models: thesis for the degree of master of science in electric power engineering. Gothenburg, *Chalmers University of Technology*, 2008. 89 p.
98. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание / перевод с англ. Н. Н. Куссуль, А. Ю. Шелестова; под ред. Н. Н. Куссуль. Москва, 2006. 1104 с.
99. Иванюк В. А., Цвиркун А. Д. Обзор моделей и методов прогнозирования финансовых временных рядов. *Восьмая международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем»*. Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова. Рос. академ. наук; под общей редакцией С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна, 2015. С. 377–382.
100. Боровиков В. П., Ивченко Г. И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере: учеб. пособ. Москва, 2000. 283 с.
101. Антонов А. В., Соколов С. В., Чепурко В. А. Бутстреп-метод оценки характеристик надежности восстанавливаемых объектов по специфическим данным об отказах. *Информационные технологии*. 2012. Вып. 4. С. 50–54.
102. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа: сб. статей: Пер. с англ. М.: Финансы и статистика, 1988. 263с.
103. Mandelbrot B. B. *The Fractal Geometry of Nature*. San Francisco: W. H. Freeman, 1982. 468 p.
104. Кучук Г. А. Моделирование обобщенного фрактального броуновского движения. *Збірник наукових праць ІПМЕ*. К.: НАНУ, ІПМЕ, 2003. Вип. 22. С. 79–82.
105. Mandelbrot B. B., Van Ness J. W. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. *SIAM*, 1968. Vol. 10. P. 422–437.
106. Лосев Ю. И., Руккас К. М. Анализ системы массового обслуживания с приоритетами с учетом фрактальности входного трафика. *Радиотехника*. Х.: ХНУРЭ, 2006. Вып. 146. С. 189–195.
107. Feder J. *Fractals*. New York: Plenum Press, 1988. 261 p.

108. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М.: Изд-во «Советское радио», 1968. 288 с.
109. Jang J.-S. R. Neuro-Fuzzy and Soft Computing. *IEEE Trans. Systems & Cybernetics*, 1997. P. 614.
110. Lin C.-T., Lee G. C. S. Neural-network-based fuzzy logic control and decision system. *IEEE Trans. On Computers*, December 1991. Vol. 40, № 12. P. 132–136.
111. Jang J.-S. R. Neuro-Fuzzy modeling and control. *Proceedings of the IEEE*, March 1995. Vol. 83, № 3. P. 378-406.
112. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. и др.; под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
113. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений: пер. с англ. М.: Мир, 1976. 167 с.
114. Cirstea M. N., Dinu A., Khor J. G., McCormick M. Neural and Fuzzy Logic Control of Drives and Power Systems. Newnes, 2002. 400 p.
115. Пахомова В. М., Дмитрієв С. Ю. Розробка підсистеми оперативного прогнозування простоїв прибуваючих поїздів на основі ANFIS-системи. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. Вип. 4. С. 46–55.
116. Смехов А. А. Основы транспортной логистики: учеб. для вузов. М.: Транспорт, 1995. 197 с.
117. Качество и сертификация промышленной продукции / А. Г. Гребеников и др. Х.: ХАИ, 1998. 396 с.
118. Андрианов Ю. М., Лопатин М. В. Квалиметрические аспекты управления качеством новой техники. Л.: ЛГУ, 1983. 288 с.
119. Дешковский А., Койфман Ю. Метод размерностей в решении задач. *ФПВ*, 2002. Вип. 2. С. 71–81.
120. Хантли Г. Анализ размерностей. М.: Мир, 1970. 175 с.

121. Кислий В. М., Біловодська О. А., Олефіренко О. М., Соляник О. М. Логістика: Теорія та практика: навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2010. 360 с.
122. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985. 287 с.
123. Пузанков А. Д., Четвергов В. А. Надежность локомотивов: учеб. для вузов железнодорожного транспорта; под ред. Четвергова В. А. М.: Изд-во «Маршрут», 2003. 415 с.
124. Denysiuk R., Gaspar-Cunha A. Weighted Stress Function Method for Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition. *Proceedings of 9th International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization (EMO 2017)* Münster, Germany, March 19-22, 2017. P. 176–190.
125. Ferreira J. C., Fonseca C. M., Gaspar-Cunha A.: Methodology to select solutions from the pareto-optimal set: a comparative study. *Proceedings of 9th Annual Conference on Genetic on Evolutionary Computation (GECCO 2007)*, ACM, New York. P. 789–796.
126. Пушкар О. І., Гіковатий В. М., Євсєєв О. С., Потрашкова Л. В. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб.; під ред. Пушкар О. І. Харків: Інжек, 2006. 304 с.
127. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. К.: КНЕУ, 2009. 614 с.
128. Балака Є. І., Зоріна О. І., Колесникова Н. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посіб. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.

Додаток А

Реалізація програми пошуку оптимального маршруту інтермодальних контейнерних перевезень на основі векторної оптимізації мовою Matlab

```
global G
```

```
global PATH
```

```
global DD
```

```
global CC
```

```
global VV
```

```
global MM
```

```
s = [1 1 1 1 1 2 2 3 5 1 1 6 6 7 6 5 4 2 3 7 10 10 8 13 11 9 12 4 14 16 19 7 23  
18 3 12 22 16 21 7 24 26 20 28 13 9 4 15 27 15 9 12 26 24 27 23 31 32 23 32 15  
17 33 37 37 33 39 25 28 35 34 40 28 36 43 34 35 29 38 42 36 40 41 38 46 45 47 44  
42 11 19 4 11 41 33 40 22 30 21];
```

```
t = [2 3 24 5 11 23 4 13 23 8 6 7 2 4 4 3 19 18 9 10 4 12 13 9 7 14 20 16 17 34 15  
22 16 24 24 25 12 15 25 25 26 27 28 29 26 27 20 28 30 31 32 21 33 33 34 13 37 35  
9 30 39 36 37 40 38 17 29 41 41 42 43 38 45 46 46 36 43 45 48 46 40 44 47 45 44 48  
48 48 48 45 28 15 47 45 31 48 25 43 28];
```

```
weights =(ones(size(s)))';
```

```
costs=(ones(size(s)))';
```

```
modes=(ones(size(s)))';
```

```
code = {}
```

```
for i=1:size(s,2)
```

```
sc='auto';strcat(num2str(s(i)),',',num2str(t(i)));
```

```
code{i,1}=sc
```

```
end
```

```
global a
```

```
global r
```

```
global m
```

```
global av
```

```
r=[ 5 3 532 2.65 20
```

```
    3 13 656 2.67 20
```

```
   13 9 912 2.65 20
```

```
    6 7 1223 2.65 20
```

```
    6 4 945 2.65 30
```

```
    2 4 477 2.65 33
```

```
   18 24 421 2.65 20
```

```
   24 33 345 2.65 32
```

```
    3 24 345 2.65 20
```

```
   23 16 876 2.65 20
```

```
   13 26 537 2.65 34
```

```
    4 15 654 2.65 33
```

```
   32 35 456 2.65 33
```

```
   35 43 865 2.65 20
```

```
    4 20 543 2.65 20
```

```
    4 19 986 2.65 33
```

```
    7 10 536 2.65 20
```

```
10 12 423 2.65 33
16 15 324 2.65 20
15 28 456 2.65 22
28 41 432 2.65 20
41 47 432 2.65 33
15 31 432 2.65 20
31 37 653 2.65 20
33 17 345 2.65 20
12 21 433 2.65 30
21 28 346 2.65 20
24 26 543 2.65 23
12 25 765 2.65 20
25 41 523 2.65 32
9 14 434 2.65 20
7 22 523 2.65 20
4 16 432 2.65 21
28 29 334 2.65 33]
```

```
for i=1:size(r,1)
```

```
sc=find(s==r(i,1)& t==r(i,2),1,'first')
```

```
code{sc,1}='rail';
```

```
weights(sc)=r(i,3);
```

```
costs(sc)=r(i,4);
```

```
velocity(sc)=r(i,5);
```

```
modes(sc)=2;
```

```
end

m=[3 9 1545 .35 25
   33 37 2345 .41 25
   39 29 1898 .40 25
   16 34 1645 .39 22
   41 45 2313 .42 25
   35 42 1234 .41 22
   43 46 2456 .43 25
   28 45 1634 .45 25
   36 46 2345 .42 22
   9 27 1567 .39 25
   27 30 2345 .43 25
   30 43 1789 .43 25
   36 40 1234 .46 25
   37 40 1234 .41 25
   37 38 1224 .39 25]

for i=1:size(m,1)

sc=find(s==m(i,1)& t==m(i,2),1,'first')

code{sc,1}='marine';

weights(sc)=m(i,3);

costs(sc)=m(i,4);

velocity(sc)=m(i,5);

modes(sc)=3;

end
```

```

a=[11 47 3634 3.00 600
    11 45 3967 3.78 620]
% a=[11 45 4967 1978 520]
for i=1:size(a,1)
sc=find(s==a(i,1)& t==a(i,2),1,'first')
code{sc,1}='avia';
weights(sc)=a(i,3);
costs(sc)=a(i,4);
velocity(sc)=a(i,5);
modes(sc)=4;
end
av=[ 1   2 520 1.56 60
     1   3 305 1.50 60
     1  24 345 1.59 60
     1   5 627 1.58 60
     1  11 256 1.57 60
     1   8 234 1.52 60
     1   6 423 1.20 60
     2  18 564 1.56 60
     8  13 342 1.35 60
    14  17 323 1.50 60
    19  15 434 1.37 60
    22  12 342 1.56 60
     7  25 654 1.58 60

```


26 27 334 1.56 60
20 28 345 1.34 60
9 32 322 1.20 60
26 33 433 1.55 60
27 34 345 1.56 60
23 13 342 1.50 60
23 9 346 1.55 60
32 30 432 1.54 60
15 39 324 1.53 60
17 36 342 1.52 60
34 43 355 1.50 60
40 38 235 1.52 60
34 36 343 1.54 60
29 45 453 1.53 60
38 48 345 1.55 60
42 46 342 1.56 60
40 44 347 1.58 60
38 45 345 1.57 60
46 44 342 1.56 60
45 48 235 1.57 60
47 48 257 1.54 60
44 48 277 1.53 60
42 48 254 1.55 60
19 28 342 1.57 60
33 31 432 1.59 60

```

40  48 353 1.57 60
22  25 654 1.55 60
2   23 554 1.75 60
5   23 232 1.83 55
6   2  453 1.55 55
7   4  235 1.53 55
10  4  353 1.75 55
11  7  285 1.55 53
12  20 368 1.56 52
21  25 388 1.53 54]

```

```

for i=1:size(av,1)

sc=find(s==av(i,1)& t==av(i,2),1,'first')

weights(sc)=av(i,3);

costs(sc)=av(i,4);

velocity(sc)=av(i,5);

modes(sc)=1;

end

names = {}

for i=1:max([s t])

sc=strcat(",num2str(i));

names{i,1}=sc

end

```

```

GT=vertcat([r ones(size(r,1),1)],[m 2*ones(size(m,1),1)],[a 3*ones(size(a,1),1)],[av
4*ones(size(av,1),1)]);

CD=cell(size(GT,1),1)

CD(GT(:,6)==1)={'rail'}

CD(GT(:,6)==2)={'marine'}

CD(GT(:,6)==3)={'avia'}

CD(GT(:,6)==4)={'road'}

EdgeTable = table(GT(:,1:2),GT(:,3),CD,GT(:,4), ...

    'VariableNames',{'EndNodes' 'Distance' 'Mode' 'tariff'})

country_code=names

NodeTable = table(names,country_code,'VariableNames',{'Name' 'Country'})

G = digraph(EdgeTable,NodeTable);

global ne

global de

ee=EdgeTable.EndNodes

ne=ones(max(ee))*-inf

for i=1:size(ee,1)

ne( ee(i,1),ee(i,2))=i;

end

de=1+1*rand(max(max(ne)))

DD=full(adjacency(digraph(GT(:,1),GT(:,2),GT(:,3)),'weighted'))

```

```

CC=full(adjacency(digraph(GT(:,1),GT(:,2),GT(:,4)), 'weighted'))
VV=full(adjacency(digraph(GT(:,1),GT(:,2),GT(:,5)), 'weighted'))
MM=full(adjacency(digraph(GT(:,1),GT(:,2),GT(:,6)), 'weighted'))

[ DIST, PATH ] = graphkshortestpaths( sparse(DD), 1, 48, 1000 )

options =
optimoptions(@gamultiobj, 'PlotFcn', { @gaplotpareto, @gaplotscorediversity });

[x, fval] = gamultiobj(@objective, 1, [], [], [], [], 1, 963, options);

pp=unique(round(x))

hold off

figure()

h=plot(G, 'NodeLabel', G.Nodes.Country, 'EdgeLabel', G.Edges.Mode)

for i=1:size(r, 1)

highlight(h, r(i, 1:2), 'NodeColor', 'b', 'EdgeColor', 'g')

end

for i=1:size(m, 1)

highlight(h, m(i, 1:2), 'NodeColor', 'b', 'EdgeColor', [.9 .3 .9])

end

for i=1:size(a, 1)

highlight(h, a(i, 1:2), 'NodeColor', 'b', 'EdgeColor', [.9 .0 .2])

end

for i=1:size(pp, 1)

```

```

highlight(h,PATH{pp(i)},'LineWidth',2.5)

end

pf=[]

for i=1:size(pp,1)

pf(i,:)=fval(find(round(x)==pp(i),1,'first'),:)

end

hold off

figure()

plot(pf(:,1),pf(:,2),'r*')

xlabel('\bfC\rm\it, $/конт','fontname','times new roman')

ylabel('\bfT\rm\it, год','fontname','times new roman')

legend('Pareto front')

pf3=sort(pf)

    line(pf3(:,1),flipud(pf3(:,2)),'LineStyle',':','color','r')

% objective.m

function y = objective(x)

global G

global PATH

global DD

global CC

global VV

```

```

global MM
global DL
global ne
global de
x=round(x);
p=PATH{x};
T=0;
C=0;
for i=1:(size(p,2)-1)
    C=C+DD(p(i),p(i+1))*CC(p(i),p(i+1));
    T=T+DD(p(i),p(i+1))/VV(p(i),p(i+1));
    if i>1
        if MM(p(i-1),p(i))~=MM(p(i),p(i+1))
            C=C+delay(y);
            T=T+de(ne(p(i-1),p(i)),ne(p(i),p(i+1)));
        end
    end
end
y(1) = C;
y(2) = T;
end

```

```
nf=pf(:,1)-min(pf(:,1))
```

```
nf=nf/max(nf)
```

```
nf2=pf(:,2)-min(pf(:,2))
```

```
nf2=nf2/max(nf2)
```

```
nf=horzcat(nf,nf2)
```

```
w=[.6 .4]
```

```
d1=.002
```

```
d2=.008
```

```
g=[]
```

```
for j=1:2
```

```
    nn=0
```

```
    for i=1:size(nf,1)
```

```
        fx=.75*(w(j))^2+w(j)+d1
```

```
        wx=.75*(w(j))^2+2*(1-w(j))+d1
```

```
        bx=1-(tan(pi*(2*w(j)-1)/(2*(1+d2)))) / (tan(pi/(2*(1+d2)))) )
```

```
        if i>=w(j)
```

```
            ax=.4*(w(j)/d1)^(.1*d1*w(j))*tan(pi*(i-w(j))/wx)*wx / (tan(pi*w(j)/fx-d1)*fx)
```

```
        else
```

```
            ax=tan(pi*(i-w(j))/fx) / tan(pi*w(j)/fx)
```

```
        end
```

```
        nn=nn+1;
```

```

g(nn,j)=(1+ax)*bx
end
end
Q=[]
for i=1:size(nf,1)
% Q(i)=abs(g(i,1)*nf(i,1)- g(i,2)*nf(i,2) )
Q(i)=abs( g(i,1) - g(i,2) )
end
yy=find(Q==min(Q))
hold off
figure()
h=plot(G,'NodeLabel',G.Nodes.Country,'EdgeLabel',G.Edges.Mode)
highlight(h,PATH{pp(yy)},'NodeColor','r','EdgeColor','r','LineWidth',2.0)
LL=[]
for i=1:size(pp,1)
po=PATH{pp(i)}
li=0
for j=1:size(po,2)-1
li=li+DD(po(j),po(j+1))
end
LL(i)=li
end
end

```


Додаток Б

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:

Наукові праці у фахових виданнях України:

1. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 134. С. 37–42.

2. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2013. Вип. 1. С. 41–46.

3. Шапатіна О. О. Визначення сфери ефективності бімодальних перевезень. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 135–141.

4. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Вибір кількості типів технічних залізничних засобів для інтермодальних перевезень. *Збірник наукових праць ДЕУТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2014. Вип. 24. С. 202–207.

5. Шапатіна О. О. Вибір виду перевезень вантажів з використанням положень теорії нечітких множин. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 139–143.

Публікації у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

6. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Удосконалення процесу комбінованих перевезень вантажів. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2014. Вип. 4/3(70). С. 4–8 (видання індексується в базі *Index Copernicus*).

7. Panchenko S., Lavrukhin O., Shapatina O. Creating a qualimetric criterion for the generalized level of vehicle. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 1, № 3(85). P. 39–45. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.92203 (видання індексується в базі Scopus).

8. Бутько Т. В., Костенніков О. М., Прохоров В. М., Шапатіна О. О. Розробка автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень на основі векторної оптимізації. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 188. С. 71-85 (видання індексується в базі Index Copernicus).

Публікації у виданнях інших держав:

9. Lavrukhin O., Zapara V., Zapara Y., Shapatina O., Bogomazova G. Investigation into the bimodal transportation process by modelling rail module states. *Transport Problems*. 2017. Vol. 12. Issue 2. P. 99–112. DOI: 10.20858/tp.2017.12.2.10 (видання індексується в базі Scopus).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

10. Шапатіна О. О. Аналіз та перспективи розвитку бімодальних перевезень на українських залізницях. *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті: тези доповідей VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 11-13 жовтня 2012 р.)*. Київ: ДЕТУТ, 2012. С. 292–293.

11. Шапатіна О. О. Шляхи підвищення конкурентоспроможності комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 75-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2013 р.)*. Збірник наукових праць УкрДАЗТ. Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 399–400.

12. Шапатіна О. О. Оцінка рівня конкурентоспроможності інтермодальних перевезень вантажів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: тези доповідей 73-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.)*. Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. академіка В. Лазаряна, 2013. С. 174–175.

13. Шапатіна О. О. Оцінка ефективності бімодальних перевезень. *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті: тези доповідей VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 8-11 жовтня 2013 р.)*. Київ: ДЕТУТ, 2013. С. 340–341.

14. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Перевезення вантажів комбінованим транспортом. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15-17 квітня 2014 р.)*. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 305–306.

15. Котенко А. М., Шапатіна О. О. Ефективність комбінованих перевезень вантажів у міжнародних транспортних коридорах. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики: тези доповідей X міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 5-7 червня 2014 р.)*. Вісник економіки транспорту і промисловості. Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 20.

16. Котенко А. М., Крашенінін О. С., Шапатіна О. О. Обґрунтування вибору кількості типів технічних засобів для інтермодальних перевезень. *Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития, 2014: тези доповідей Міжнар.наук.-практ. конф. (Одеса, 1-12 жовтня 2014 р.)*. Сборник научных трудов SWorld. Одеса: Одеський нац. морський ун-т, 2014. Вип. 3 (36). С. 20–21.

17. Шапатіна О. О. Обґрунтування оптимальної кількості варіантів транспортних засобів комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 21-23 квітня 2015 р.)*. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Вип. 151. С. 148.

18. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Світлична А. В. Ефективність впровадження комбінованих перевезень в Україні. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 78-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 26-28 квітня 2016 р.)*. Збірник наукових праць Українського

державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 130.

19. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О. Обґрунтування ефективності бімодальних перевезень вантажів. *Проблеми розвитку транспорту і логістики: тези доповідей VII міжнар. наук.-практ. конф. (Севеодонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.)*. Збірник наукових праць Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля, Одеського національного морського університету. Севеодонецьк-Одеса: Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Одес. нац. морський ун-т, 2017. С. 94–95.

20. Лаврухін О. В., Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Удосконалення роботи залізничного транспорту при застосуванні комбінованих перевезень вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези стендових доповідей та виступів учасників 30-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 26-27 жовтня 2017 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 4 (додаток). С. 41.

21. Шапатіна О. О. Шляхи покращення комбінованих перевезень вантажів на основі формування комплексного критерію ефективності. *Технології та інфраструктура транспорту: тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 14-16 травня 2018 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2018. С. 244–246.

22. Шапатіна О. О., Кануннікова С. П. Ефективність комбінованих перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-26 квітня 2018 р.)*. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 137.

23. Костєнніков О. М., Шапатіна О. О. Удосконалення організації інтермодальних контейнерних перевезень на основі інтегрального показника надійності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези стендових доповідей та виступів учасників конференції (Харків, 24-25 жовтня 2019 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2019. Вип. 4 (додаток). С. 61.

24. Костєнніков О. М., Шапатіна О. О., Кравець А. Л., Кім К. В. Пропозиції щодо підвищення якості транспортних послуг за рахунок

удосконалення технології інтермодальних перевезень. *Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей I Міжнар. наук.-техн. конф.* (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 62-63.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

25. Котенко А.М., Крашенінін О.С., Шапатіна О.О. Обґрунтування вибору виду транспортних перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 1/2 (6). С. 25–29. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.35904.

26. Крашенінін О.С., Шапатіна О.О. Пошук оптимальної кількості варіантів транспортних одиниць комбінованих перевезень вантажів. *ScienceRise*. 2015. Вип. 4/2 (9). С. 32–36. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.40226.

27. Спосіб перевезення негабаритних і великовагових вантажів на зчепленні універсальних залізничних платформ: пат. 101721 Україна, МПК (2006.01) B61D 3/10, B61D 3/16, B60P 3/40. №а201109498; заявл. 28.07.11; опубл. 25.04.13, Бюл. № 8. 5 с.

28. Спосіб перевезення вантажів залізничним вагоном та його розвантаження на роторному вагоноперекидачі: пат. 119656 Україна, МПК (2017.01) B61F 1/06, B60S 11/00, B65G 67/34, B65G 63/00, B61D 47/00. №а201304011; заявл. 01.04.13, опубл. 10.10.17, Бюл. № 19. 6 с.

Відомості про апробацію результатів дисертації:

1. VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (Київ, 11-13 жовтня 2012 р.) (заочна участь);

2. 75-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 15-17 квітня 2013 р.) (очна участь);

3. 73-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпропетровськ, 23-24 травня 2013 р.) (заочна участь);

4. VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (Київ, 8-11 жовтня 2013 р.) (заочна участь);

5. 76-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 15-17 квітня 2014 р.) (очна участь);

6. X Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики» (Харків, 5-7 червня 2014 р.) (очна участь);

7. Международной научно-практической конференции «Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития, 2014» (Одесса, 1-12 октября 2014 г.) (заочна участь);

8. 77-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 21-23 квітня 2015 р.) (очна участь);

9. 78-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 26-28 квітня 2016 р.) (очна участь);

10. VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики» (Сєвєродонецьк-Одеса, 26-28 квітня 2017 р.) (заочна участь);

11. 30-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 26-27 жовтня 2017 р.) (очна участь);

12. 80-й Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 24-26 квітня 2018 р.) (очна участь);

13. Міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» (Харків, 14-16 травня 2018 р.) (очна участь);


14. 32-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 24-25 жовтня 2019 р.) (очна участь);

15. I Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.) (заочна участь).

Додаток В
Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖЕНО

Начальник структурного підрозділу
«Регіональний центр управління рухом»
регіональної філії «Південна залізниця»
АТ «Укрзалізниця»


Д.А. Шварьов
« 10 травня » 2020 р.

АКТ

про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи
Шапатіної Ольги Олександрівни

Члени комісії у складі: голова: начальник структурного підрозділу «Регіональний центр управління рухом» Шварьов Д.А., члени комісії: заступник начальника структурного підрозділу «Регіональний центр управління рухом» Кузьменко М.В., заступник начальника структурного підрозділу «Регіональний центр управління рухом» (з технічних питань) Немовча О.А. склали цей акт про наукові результати дисертаційного дослідження щодо автоматизованої технології управління інтермодальними перевезеннями в умовах роботи регіональної філії «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця». Завдяки реалізації розроблених технологічних науково-обґрунтованих рішень отримані наступні результати та зроблені висновки:

- надані розробки щодо автоматизованого управління технологією інтермодальних перевезень у вигляді оптимальної двокритеріальної математичної моделі планування інтермодальних контейнерних перевезень, що враховує вартість перевезення та термін доставки, при мінімізації сумарних витрат залізниці;

- на основі запропонованої математичної моделі сформована автоматизована технологія планування інтермодальних перевезень, яка реалізована у вигляді системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу і надає можливість інтермодальному оператору сформувати оптимальний план перевезення контейнерів, який враховує часи затримок під час передачі вантажу від одного транспортного підприємства до іншого та вимоги клієнта щодо вартості перевезення і терміну доставки.

Реалізація автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень забезпечує скорочення витрат інтермодальних операторів в середньому на 8% за умови її застосування на складних транспортних мережах та до 10% скорочення простоїв контейнерів на станціях у порівнянні із традиційною технологією планування.

Голова комісії

начальник структурного підрозділу
«Регіональний центр управління рухом»

Д.А. Шварьов

Члени комісії:

заступник начальника структурного підрозділу
«Регіональний центр управління рухом»

М.В. Кузьменко

заступник начальника структурного підрозділу
«Регіональний центр управління рухом»
(з технічних питань)

О.А. Немовча

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з науково-педагогічної роботи
Українського державного університету
залізничного транспорту

Д.І. Мкртчян

« 15 » лютого 2020 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
Шапатіної Ольги Олександрівни
з формування автоматизованої технології управління інтермодальними
перевезеннями у навчальний процес Українського державного
університету залізничного транспорту

До основних результатів дисертації Шапатіної О.О., які використовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, належать:

- формалізація технологічного процесу просування контейнерів при інтермодальних перевезеннях з урахуванням максимального задоволення основних вимог вантажовідправників при визначенні маршруту для планування інтермодальних контейнерних перевезень;
- формування автоматизованої технології планування інтермодальних перевезень, яка реалізована у вигляді системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу.

Розробки та рекомендації, запропоновані автором, впроваджені у навчальний процес з 2019/2020 навчального року:

- 1) при підготовці бакалаврів усіх освітніх програм спеціальності «Транспортні технології (залізничний транспорт)» з дисципліни «Вантажні перевезення»;
- 2) при підготовці магістрів усіх освітніх програм спеціальності «Транспортні технології (залізничний транспорт)» з дисципліни «Транспортно-експедиторська діяльність»;
- 3) при виконанні випускних кваліфікаційних робіт магістрів факультету управління процесами перевезень.

Завідувач кафедри
управління вантажною і
комерційною роботою,
д.т.н., професор



О.В. Лаврухін