

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 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).

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 перезавантаженість 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 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.

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: ДЕУТ, 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: ДЕГУТ, 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» (Севєродонецьк-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.

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 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.
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., 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.

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. №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.

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-zaliznitseyu-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/ТСВРНhist.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. DărăbanŃ S., Stefănescu 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., Шилаев П. С. Інтермодальні перевезення. Перспективи розвитку. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2009. Вып. 54. С. 31–36.
55. Котенко А. М., Шевченко В. І., Шилаев 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_gr_uzooborot_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.

