

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

КОЛІСНИК АЛІНА ВОЛОДИМИРІВНА

УДК 656.073.235:004

ДИСЕРТАЦІЯ

ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ВИПАДКОВИХ ПОТОКІВ

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

А. В. Колісник



Науковий керівник

БУТЬКО Тетяна Василівна,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2020

АНОТАЦІЯ

Колісник А. В. Формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею на основі теорії випадкових потоків. – 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 транспортування контейнерів залізницею, при здійсненні інтермодальних перевезень, яка дасть можливість всім учасникам процесу в оперативному режимі приймати швидкі раціональні рішення щодо усунення затримок у перевізному процесі при мінімальних експлуатаційних витратах в умовах невизначеності.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає: на основі системного підходу у вирішенні наукового завдання з формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею при здійсненні інтермодальних перевезень з використанням теорії випадкових потоків, що дозволяє зменшити загальні експлуатаційні витрати на перевезення контейнерів.

Вперше:

– формалізовано процес накопичення контейнерних партій на термінальних станціях на основі теорії випадкових потоків як суперпозицію нестационарних потоків Пуассона і Ерланга різної кратності;

– для визначення параметрів процесу накопичення контейнерної партії певної чисельності протягом визначеного часового інтервалу на залізничних терміналах отримано загальний вигляд функції оцінки ймовірності шляхом представлення процесу надходження контейнерів у вигляді нестационарних неординарних потоків із різним ступенем ергодичності;

– процес планування організації транспортування контейнерних партій залізницею до морських портів у складі системи інтермодальних перевезень, був сформульований як оптимізаційна модель стохастичного програмування, яку було представлено цільовою функцією у вигляді сумарних експлуатаційних витрат на просування контейнерів сухопутною частиною шляху та системою обмежень, що відтворює технологічні параметри процесу. Результатом оптимізації даної моделі є такі елементи планування, як моменти закінчення накопичення та способи транспортування контейнерних партій одночасно по всіх термінальних станціях полігону (системний ефект); дана модель є основою для побудови оперативного плану транспортування контейнерних партій із заданим рівнем надійності;

– для прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів на залізничні термінали було розроблено модель на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання, що використовує схему представлення функцій умовної інтенсивності надходження контейнерів у вигляді нерегулярних часових рядів.

Набула подальшого розвитку система АСК ВП УЗ-Є шляхом інтеграції систем підтримки прийняття рішень (СППР) на АРМі оперативних працівників АТ «Укрзалізниця», що реалізують автоматизовану технологію раціонального управління контейнерними перевезеннями при взаємодії з СППР інтермодального оператора.

Практичні результати полягають у тому, що розроблено автоматизовану технологію управління транспортуванням контейнерів залізницею, яка дасть можливість в оперативному та тактичному плануванні роботи залізничних підсистем при взаємодії з морським транспортом всім учасникам процесу приймати швидкі раціональні рішення щодо усунення затримок у перевізному процесі при мінімальних експлуатаційних витратах в умовах невизначеності. Впровадження даної технології відкриває можливості для зниження більш ніж на 10 % собівартості сухопутної частини транспортування контейнерів у міжнародному сполученні.

Відповідно до теми дисертації опубліковано 31 наукову працю: з яких одинадцять статей опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (чотири з них включені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі дві – до бази Scopus), та шістнадцять праць апробаційного характеру, чотири додаткових праці.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність, надано загальну характеристику роботи.

У першому розділі проведено аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту, зокрема при перевезенні потоків контейнерів. Виявлено негативні тенденції щодо зменшення обсягів залізничних вантажних перевезень як в Україні так і за кордоном. Досліджено часові показники обробки контейнерів на залізничних термінальних вантажних та припортових станціях. Виявлено, що непродуктивні простої на станціях призводять до збільшення часу просування контейнерів у складі інтермодальних поїздів. Обґрунтовано необхідність формалізації процесу транспортування контейнерів залізницею у складі інтермодальних поїздів для формування автоматизованої технології.

У другому розділі проведено дослідження особливостей структури та параметрів контейнеропотоків та отримані залежності кількісних характеристик з використанням теорії випадкових потоків. Доведено, що потоки надходження контейнерних партій до залізничних термінальних станцій відносяться до класу неординарних, нестационарних потоків Пуассона і Ерланга. Показано, що одним із найважливіших параметрів процесу надходження контейнерів як випадкового потоку є функція умовної інтенсивності. На основі реальних даних процесу надходження контейнерів на основі методу максимізації логарифмічної функції правдоподібності була отримана умовна функція інтенсивності нестационарного неординарного потоку та функції інтенсивності складових потоків, що відрізняються за параметром кратності.

На основі системного підходу, із урахуванням отриманих залежностей процес планування організації транспортування контейнерних партій

залізницею до морських портів у складі системи інтермодальних перевезень був сформульований у вигляді задачі стохастичного програмування, основа якої була представлена оптимізаційною моделлю.

Цільова функція сумісно із системою обмежень, що регламентують технологічний процес представляють оптимізаційну модель оперативного управління транспортуванням контейнерів від залізничних термінальних станцій до портів.

Оптимізація сформованої математичної моделі представляє складну задачу стохастичного програмування, вирішення якої потребує розроблення певної технології, яка дозволить автоматизувати не лише ті обчислювальні процеси, які безпосередньо пов'язані із обчисленням значень цільової функції та пошуком оптимального рішення, але й процеси обробки історичної інформації та здійснення прогнозів з метою забезпечення процесу оптимізації якісними вихідними даними.

У третьому розділі для прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів на залізничні термінали було розроблено модель на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання, яка використовує схему представлення функцій умовної інтенсивності надходження контейнерів у вигляді нерегулярних часових рядів. Розроблену модель прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання було реалізовано у вигляді програмного продукту у середовищі Matlab.

У результаті проведеного на реальних даних моделювання було встановлено, що похибка прогнозу знаходиться у межах 6%, що дозволяє віднести розроблену прогнозну модель до класу високоточних моделей.

Було здійснено оптимізацію моделі стохастичного програмування за допомогою алгоритму імітації відпалу. В ході оптимізації моделі побудовано поверхню відгуку цільової функції та отримано її глобальний мінімум, який відповідає мінімуму питомих експлуатаційних витрат на транспортування контейнерних партій в бік порту для завантаження на судно. Наявність

мінімуму цільової функції моделі, що знаходиться в межах планового періоду, та його величина, яка узгоджується із даними про собівартість транспортування контейнерів, свідчать про адекватність розробленої моделі. Також в ході моделювання було доведено, що результати оптимізації дозволяють визначити ключові елементи оперативного плану роботи термінальних залізничних станцій, а саме: моменти часу закінчення накопичення контейнерних партій на термінальних станціях та спосіб їх транспортування до морського порту (у складі прямого повносоставного або неповносоставного маршрутного поїзда або у складі попутних вантажних поїздів із можливим подальшим переформуванням на сортувальних станціях).

В результаті оцінки ефективності розробленої технології було встановлено, що вона надає можливість зменшити експлуатаційні витрати на залізничні перевезення контейнерів щонайменше на 10% в порівнянні з традиційною технологією планування. Даний результат був досягнутий в першу чергу завдяки створенню та використанню системного ефекту, який є наслідком включення до єдиного процесу планування всіх термінальних залізничних станцій, що технологічно пов'язані через адресування контейнерних партій до спільного судна у порту.

У четвертому розділі з метою підвищення якості залізничних перевезень та збільшення обсягів вантажних перевезень, зокрема при перевезенні контейнерів, запропоновано впровадити новий модуль до АСК ВП УЗ-Є шляхом його інтегрування на АРМи оперативних працівників зокрема ДНЦ, ДСП, ДНЦОВ, ДСЦ, що будуть містити у собі СППР, також на АРМ оператора інтермодальних перевезень. Це дозволить за допомогою системного підходу узгодити роботу портів та залізничних термінальних станцій, що призведе до зменшення простоїв контейнерів на залізничних станціях та в портах, отже зменшаться загальні експлуатаційні витрати на перевезення контейнерів.

Інтегральний економічний ефект з наростаючим підсумком, який складається з економічного ефекту отриманого для вантажовідправника та залізниці з урахуванням поточних та капітальних витрат від використання

запропонованої автоматизованої технології протягом 5 років становитиме 393,35 млн. грн.

Ключові слова: теорія випадкових потоків, нестационарні неординарні потоки, задача стохастичного програмування, автоматизована технологія транспортування контейнерів залізницею.

ABSTRACT

Kolisnyk A.V. Formation of automated technology transporting containers by rail based on the theory of random flows. – Qualifying scientific work, manuscript copyright.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty – «Transport Systems» (275 – Transport technologies). – Ukrainian State University of Railway Transport of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The dissertation was devoted to the issue of increasing the efficiency of container intermodal transport by formalizing and automating the processes of transporting containers by rail based on the theory of random flows.

The scientific novelty of the dissertation is: based on a systematic approach to solving the scientific problem of forming an automated technology for transporting containers by rail, in the implementation of intermodal transportation using the theory of random flows, which reduces overall operating costs for container transportation.

For the first time:

- the process of accumulation of container batches at terminal stations is formalized on the basis of the theory of random flows as a superposition of nonstationary Poisson and Erlang flows of different multiplicity;
- to determine the parameters of the process of accumulation of a container batch of a certain number during a certain time interval at railway terminals obtained a general view of the probability estimation function by presenting the process of

container arrival in the form of nonstationary extraordinary flows with different degrees of ergodicity;

- the process of planning the organization of container shipment by rail to seaports as part of the system of intermodal transportation, was formulated as an optimization model of stochastic programming, which was represented by the objective function in the form of total operating costs for container movement process parameters. The result of optimization of this model are such planning elements as the moments of the end of accumulation and methods of transportation of container batches simultaneously at all terminal stations of the landfill (system effect); this model is the basis for building an operational plan for the transportation of container batches with a given level of reliability;

- to predict the intensity of the flow of containers to railway terminals, a model based on recurrent neural networks of deep learning was developed, which uses the scheme of representation of functions of conditional intensity of containers in the form of irregular time series;

The Unified Automated Cargo Transportation Management System of Ukrzaliznytsya (ASK VP UZ-E) was further developed by integrating decision support systems (DSS) into the workstations of Ukrzaliznytsia JSC operatives that implement automated technology of rational container transportation management in interaction with the DSU of the intermodal operator.

The practical results are that an automated technology for controlling the transportation of containers by rail has been developed, which will allow in the operational and tactical planning of railway subsystems in interaction with maritime transport all participants in the process to make quick rational decisions to eliminate delays in the transport process with minimal operating costs. uncertainty. The introduction of this technology opens up opportunities to reduce by more than 10% the cost of land transportation of containers in international traffic.

According to the dissertation topic, 31 scientific works were published: eleven articles were published in professional scientific journals approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine (four of them are included in

international scientometric databases, including two - in the Scopus database), and sixteen approbation papers, four additional labor.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the purpose and objectives of the study, reflects the scientific novelty and practical value, provides a general description of the work.

In the first section the analysis of technical and operational indicators of work of railway transport, in particular at transportation of streams of containers is carried out. Negative tendencies to reduce the volume of rail freight both in Ukraine and abroad have been identified. The time indicators of container handling at railway terminal freight and port stations are investigated. It was found that unproductive downtime at stations leads to an increase in the travel time of containers in intermodal trains. Necessity of formalization of process of transportation of containers by the railway as a part of intermodal trains for formation of the automated technology is proved.

In the second section, a study of the structure and parameters of container flows and the dependences of quantitative characteristics using the theory of random flows. It is proved that the flows of container batches to railway terminal stations belong to the class of extraordinary, non-stationary flows of Poisson and Erlang. It is shown that one of the most important parameters of the process of receiving containers as a random flow is the function of conditional intensity. Based on the real data of the container arrival process based on the method of maximizing the logarithmic likelihood function, the conditional function of the intensity of the nonstationary extraordinary flow and the function of the intensity of the component flows differing in the multiplicity parameter were obtained.

Based on a systematic approach, taking into account the obtained dependences, the process of planning the organization of transportation of container consignments by rail to seaports as part of the intermodal transportation system was formulated as a stochastic programming problem, based on an optimization model.

The target function in combination with the system of constraints regulating the technological process is an optimization model of operational management of

container transportation from railway terminal stations to ports. Optimization of the formed mathematical model is a complex problem of stochastic programming, the solution of which requires the development of a certain technology that will automate not only those computational processes that are directly related to calculating the values of the objective function and finding the optimal solution, but also historical information processing and forecasting. in order to provide the optimization process with quality source data.

In the third section, a model based on recurrent neural learning neural networks was developed to predict the intensity of container flow to railway terminals, which uses a scheme to represent the functions of conditional container flow intensity in the form of irregular time series. The developed model for forecasting the intensity of the flow of containers on the basis of recurrent neural networks of deep learning was implemented as a software product in the Matlab environment.

As a result of modeling on real data, it was found that the forecast error is within 6%, which allows us to classify the developed forecast model to the class of high-precision models. The stochastic programming model was optimized using an annealing simulation algorithm. During the optimization of the model, the response surface of the objective function was constructed and its global minimum was obtained, which corresponds to the minimum specific operating costs for transportation of container batches towards the port for loading on the ship. The presence of the minimum target function of the model, which is within the planning period, and its value, which is consistent with the data on the cost of transporting containers, indicate the adequacy of the developed model. Also during the simulation it was proved that the optimization results allow to determine the key elements of the operational plan of terminal railway stations, namely: moments of end of accumulation of container consignments at terminal stations and the method of their transportation to the seaport (as part of direct as a part of the accompanying freight trains with possible further reformation at sorting stations).

As a result of evaluating the effectiveness of the developed technology, it was found that it provides an opportunity to reduce operating costs for rail transportation of containers by at least 10 % compared to traditional planning technology. This result was achieved primarily through the creation and use of a systemic effect, which is the result of the inclusion in a single planning process of all terminal railway stations, which are technologically connected through the addressing of container batches to a common vessel in the port.

In the fourth section, in order to improve the quality of rail transport and increase the volume of freight transport, in particular in the transportation of containers, it is proposed to introduce a new module to ASKVPUZ-E by integrating it into the workstations of operational staff in particular, also on the workstation of the intermodal transportation operator. This will allow a systematic approach to harmonize the operation of ports and railway terminal stations, which will reduce the downtime of containers at railway stations and ports, thus reducing the overall operating costs for the transportation of containers.

The integrated economic effect with the cumulative total, which consists of the economic effect obtained for the shipper and the railway, taking into account current and capital costs from the use of the proposed automated technology for 5 years will be UAH 393.35 million.

Keywords: random flow theory, non-stationary extraordinary flows, the problem of stochastic programming, automated technology for transporting containers by rail.

Список публікацій здобувача

Основні наукові праці:

Наукові праці у фахових виданнях України:

1. Світлична А. В. Аналіз шляхів розвитку комбінованих перевезень в Україні. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 131. С. 104-108.

2. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Підвищення ефективності контрейлерних перевезень вантажів. *Вісник національного технічного університету «ХПИ»*. 2012. Вип. 33. С.87-95.

3. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Концепція організації контрейлерних перевезень «на просторі 1520 і 1435 мм. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 134. С. 22-27.

4. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Визначення доцільності та моделювання контрейлерних перевезень *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 11-17.

5. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Розвиток контрейлерних перевезень вантажів на залізницях України. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 142. С. 37-43.

6. Котенко А. М., Лаврухін О. В., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Шевченко В. І., Пилипейко О. М. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів в транспортних системах. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 145. С. 50-59.

7. Лаврухін О. В., Котенко А. М., Світлична А. В., Шевченко В. І. Перевезення контрейлерів довгосоставними і великоваговими поїздами. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С. 5-11.

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

8. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В., Пупена С. І. Перспективи розвитку комбінованих перевезень. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. Вип. 1/3 (61). С. 56–61. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185.

9. Колісник А. В. Формування структури і комплексу задач інформаційно-керуючої системи для управління контрейлерними перевезеннями. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. № 3. С. 17-22.

10. Prokhorchenko A., Panchenko A., Parkhomenko L., Nesterenko H., Muzykin M., Prokhorchenko H., Kolisnyk A. Forecasting the estimated time of arrival for a cargo dispatch delivered by a freight train along a railway section. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 3, № 3 (99). P. 30–38. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується в базі Scopus).

11. Butko T., Prokhorov V., Kolisnyk A., Parkhomenko L. Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020 Vol. 1, № 3 (103). P. 6–12. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується в базі Scopus).

Праці апробаційного характеру:

12. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Пилипейко О. М., Світлична А. В. Удосконалення технології інтермодальних перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 74-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. (Харків, 26–28 квітня 2012 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 129. С. 263–264.

13. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень «на просторі 1435мм і 1520мм» при застосуванні інтероперабельних технічних засобів і технологій. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України: тези доповідей 8-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості*. (Харків, 5–8 червня 2012 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 38. С. 87-88.

14. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Основні напрями організації контрейлерних перевезень «на просторі 1435 мм і 1520 мм». *Проблеми економіки и управління на залізничному транспорті: Матеріали VII Міжнарод. науч.-практ. конф. (Судак, 11-13 жовтня 2012г.)* Київ: ГЭТУТ, 2012. С. 253-254.

15. Пилипейко О. М., Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Нові форми транспортного обслуговування власників вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 75-ї Міжнарод. науч.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 24–25 квітня 2013 р.).* Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 397–398.

16. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Ресурсозберігаюча технологія контрейлерних терміналів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 75-ї Міжнарод. науч.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 24–25 квітня 2013 р.).* Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 401.

17. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Обґрунтування технологій контрейлерних перевезень. *Проблеми економіки и управління на залізничному транспорті: матеріали VIII Міжнарод. науч.-практ. конф. (АР Крим, Судак, 8–11 жовтня 2013 г.).* Київ: ГЭТУТ, 2013. С. 306–309.

18. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Підвищення ефективності функціонування транспортної системи України: *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України: тези доповідей 9-ї Міжнарод. науч.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 5–7 червня 2013 р.).* Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 42. С. 45-46.

19. Котенко А. М., Світлична А. В. Транзитні перевезення і розвиток комбінованого транспорту: *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на*

транспорті: тези доповідей 76-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 15–17 квітня 2014 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 306.

20. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень міжнародними транспортними коридорами. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики*: тези доповідей 10-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 5–7 червня 2014 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 19-20.

21. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Підвищення ефективності експлуатаційної роботи на основі впровадження єдиних наскрізних технологічних процесів роботи транспортних цехів промислових підприємств і залізниць. *Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий*: тезисы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27–28 февраля 2014 г.). Днепропетровск: ДНУЖТ, 2014. С. 51–53.

22. Котенко А. М., Козодой Д. С., Світлична А. В. Перевезення небезпечних вантажів комбінованим транспортом. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 151. С. 147.

23. Світлична А. В. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень за чинниками глобальної логістики. *Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика*: тези доповідей 11-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 11–13 червня 2015р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 50. С. 32-33.

24. Лаврухін О. В., Шпатіна 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. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 130.

25. Бутько Т. В., Колісник А. В. Формування автоматизованої технології комбінованих перевезень на залізничній мережі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези доповідей 30-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (Харків, 26-27 жовтня 2017 р.). Харків : УкрДУЗТ, 2017. №4. (додаток). С. 5-6.

26. Бутько Т. В., Колісник А. В., Москаленко О. В. Удосконалення структури і комплексу задач АСК ВП УЗ-Є при комбінованих перевезеннях. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 25 – 27 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 155–156.

27. Бутько Т.В., Колісник А.В., Пархоменко Л.О. Удосконалення організації взаємодії залізничних вузлів та портів при контейнерних перевезеннях. *Інтелектуальні транспортні технології*: тези доповідей 1-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 13.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

28. Спосіб навантаження-розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу: пат. №74305 Україна, МПК(51) В61В 1/00, В60S 13/00/ Шилаєв П. С., Котенко А. М., Дунаєвський Л. М., Світлична А. В. №u201203893; заяв. 30.03.12, опубл. 25.10.2012, бюл. № 20/2012, 7с.

29. Спосіб навантаження- розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу: пат.№105535, Україна, МПК(51) В61В 1/00, В61J 1/00, В60S 13/00, E01B / Шилаєв П. С., Котенко А. М., Дунаєвський Л. М., Світлична А. В. №a20120357, заяв. 26.03.2012, опубл. 26.05.2014, бюл. № 10/2014, 8с.

30. Котенко А. М., Козодой Д. С., Світлична А. В. Методики визначення втрат від аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. *Збірник наукових*

праць Української державної академії залізничного транспорту. 2013. Вип. 141. С.272-280.

31. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Технології і технічні засоби комбінованих перевезень вантажів за чинниками глобальної логістики *Науковий журнал "ScienceRise"*. 2015. № ½ (6). С. 21-25.

ЗМІСТ

ВСТУП	21
РОЗДІЛ 1 ОБГРУНТУВАННЯ РОЗВИТКУ ТА СТАНУ ДОСЛІДЖЕННЯ В ОБЛАСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	29
із стану вантажних перевезень в Україні	Анал 29
із розвитку контейнерних перевезень в Україні і за кордоном	Анал 33
Аналіз стану наукових досліджень в області інтермодальних перевезень в Україні та за кордоном	50
Висновки до розділу 1	60
РОЗДІЛ 2 ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМИ КОНТЕЙНЕРНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В РАМКАХ СИСТЕМИ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	62
Передумови формалізації процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями та аналіз факторів, що впливають на вибір стратегії доставки контейнерів до порту	62
Вибір математичного апарату для формалізації процесу прибуття контейнерів до термінальних станцій	66
Дослідження процесу накопичення контейнерів на термінальних залізничних станціях за допомогою математичного апарату випадкових потоків	68
Формування моделей оцінювання імовірнісних характеристик контейнеропотоків на термінальних залізничних станціях	80
Формалізація процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями у вигляді задачі стохастичного програмування	88
Формування математичної моделі	90

	19
овки до розділу 2	Висн 95
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ В УМОВАХ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	99
із вихідних даних та методів прогнозування часових рядів	Анал 99
Принципи застосування моделей глибинного навчання для прогнозування часових параметрів та метод кодування даних функцій інтенсивності контейнеропотоків	102
Принципи функціонування прогновної моделі із використанням нейронних мереж на основі архітектури довгої короткострокової пам'яті	107
дення моделювання та аналіз отриманого прогнозу	Прове 112
Обробка вихідних даних оптимізаційної моделі та моделювання параметрів потоків надходження контейнерів	119
методу оптимізації моделі	Вибір 125
ізація моделі	Оптим 129
овки до розділу 3	Висно 134
РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ	137
Передумови розробки автоматизованої технології формування і просування потоків контейнерів	137
Розробка вимог до системи підтримки прийняття рішень В межах автоматизованої системи формування та просування потоків	

	21
Удосконалення структури і комплексу задач АСК ВП УЗ –Є в умовах перевезення потоків контейнерів	144
чення економічної доцільності запропонованої технології	Визна 147
вки до розділу 4	Висно 154
ВИСНОВКИ	155
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	159
Додаток А Статистичні дані щодо обсягів контейнерних перевезень на станції Харків-Ліски	174
Додаток Б Статистичні дані щодо перевалки контейнерів у портах України	177
Додаток В Фрагмент програми мовою Matlab для оптимізації математичної моделі управління процесом транспортування контейнерів залізницею в рамках системи інтермодальних перевезень	179
Додаток Г Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	186
Додаток Д Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	193

ВСТУП

Актуальність теми. Збільшення обсягів інтермодальних контейнерних перевезень є загальносвітовою тенденцією. Інтермодальні перевезення за участю залізниць є єдиним ринковим сегментом загальних європейських залізничних вантажоперевезень, який показав приріст в обсягах +50 %. В той час як, за останні 10 років аналіз статистичних даних довів загальну тенденцію спаду обсягів залізничних перевезень вантажів як країнами Європи так і в Україні. Об'єми вантажних перевезень територією України за цей період продемонстрували тенденцію зменшення майже на 11%.

Основною причиною гальмування розвитку інтермодальних залізничних перевезень в Україні, що призводить й до зменшення обсягів вантажних перевезень в цілому, є неузгодженість роботи портів та залізничних термінальних станцій. В результаті цього виникають значні простої контейнерів під час їх транспортування залізницею, зокрема в Україні на залізничних термінальних та припортових станціях простої сягають близько 8 діб. Невчасна доставка товару вантажоодержувачу призводить до зменшення кількості заявок на перевезення контейнерів залізницею, що значно впливає на обсяги вантажних перевезень.

З метою підвищення конкурентоспроможності залізниць та збільшення обсягів вантажних перевезень доцільно сприяти розвитку інтермодальних контейнерних перевезень територією України. Це можливо реалізувати за рахунок розроблення та впровадження автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею, яка базується на системному підході, що враховує всі елементи системи інтермодальних перевезень, які відповідають за процес накопичення і транспортування контейнерних партій сухопутною ділянкою шляху, а саме: залізничні термінальні вантажні, сортувальні, припортові станції, порт, в умовах випадкових контейнеропотоків, що надходять від вантажовідправників.

Ці питання закріплені в положеннях Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, у якій першочерговими завданнями проголошено: забезпечення розвитку мультимодальних транспортних технологій та інфраструктурних комплексів для забезпечення взаємодії різних видів транспорту; гармонізацію розвитку припортової інфраструктури (залізничних підходів, автомобільних доріг) та пропускнуої спроможності портів.

Тому актуальним завданням є формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею, при здійсненні інтермодальних перевезень, яке дасть можливість всім учасникам процесу в оперативному режимі приймати швидкі раціональні рішення щодо усунення затримок у перевізному процесі при мінімальних експлуатаційних витратах в умовах невизначеності.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року 2 (розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.07.2013 р. № 548-р)., а також науково-дослідної роботи за темою “Формування та шляхи реалізації організаційно-технологічної моделі використання вантажних вагонів у міжнародних перевезеннях” (ДР №0115U000275), у якій особистий внесок автора розділ 2 (п.1).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності контейнерних інтермодальних перевезень шляхом формалізації та автоматизації процесів транспортування контейнерів залізницею на основі теорії випадкових потоків.

Для досягнення вищезазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

– провести аналіз техніко-експлуатаційних показників роботи залізничного транспорту, зокрема при перевезенні потоків контейнерів;

- проаналізувати наукові дослідження щодо удосконалення залізничних контейнерних перевезень;
- провести дослідження особливостей структури та параметрів контейнеропотоків та отримати залежності кількісних характеристик з використанням теорії випадкових потоків;
- на основі системного підходу формалізувати процес управління залізничними контейнерними інтермодальними перевезеннями як задачу стохастичного програмування для формування автоматизованої технології;
- сформувати процедуру представлення часових характеристик контейнеропотоків та модель їх прогнозування;
- розробити процедуру оптимізації моделі оперативного управління транспортуванням контейнерів від залізничних термінальних станцій до портів;
- провести процедуру оптимізації сформованої моделі;
- удосконалити інформаційно-керуючу систему управління залізничними перевезеннями шляхом інтеграції сформованої системи підтримки прийняття рішень при транспортуванні контейнеропотоків на АРМі оперативних працівників ;
- оцінити економічну ефективність розробленої автоматизованої технології транспортування контейнерів.

Об'єкт дослідження – процес транспортування контейнеропотоків залізничним транспортом.

Предмет дослідження – автоматизована технологія транспортування контейнерів.

Методи дослідження. При здійсненні аналізу основних кількісних та якісних показників роботи підсистеми контейнерних перевезень були застосовані методи математичної статистики та теорії ймовірностей; при побудові моделі управління залізничними контейнерними перевезеннями були використані методи системного підходу, теорії випадкових потоків, стохастичного програмування; при побудові прогнозних моделей

застосовувались методи навчання нейронних мереж. При побудові кумулятивних функцій інтенсивностей контейнеропотоків були використані методи інтегрального числення. Для оптимізації моделі стохастичного програмування було використано метод відпалу.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі на основі системного підходу вирішено наукове завдання з формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею, при здійсненні інтермодальних перевезень з використанням теорії випадкових потоків, що дозволяє зменшити загальні експлуатаційні витрати на перевезення контейнерів.

З цією метою вперше:

- формалізовано процес накопичення контейнерних партій на термінальних станціях на основі теорії випадкових потоків як суперпозицію нестационарних потоків Пуассона і Ерланга різної кратності;

- для визначення параметрів процесу накопичення контейнерної партії певної чисельності протягом визначеного часового інтервалу на залізничних терміналах отримано загальний вид функції оцінки ймовірності шляхом представлення процесу надходження контейнерів у вигляді нестационарних неординарних потоків із різним ступенем ергодичності;

- процес планування організації транспортування контейнерних партій залізницею до морських портів у складі системи інтермодальних перевезень був сформульований як оптимізаційна модель стохастичного програмування, яку було представлено цільовою функцією у вигляді сумарних експлуатаційних витрат на просування контейнерів сухопутною частиною шляху та системою обмежень, що відтворює технологічні параметри процесу. Результатом оптимізації даної моделі є такі елементи планування, як моменти закінчення накопичення та способи транспортування контейнерних партій одночасно по всіх термінальних станціях полігону (системний ефект); дана модель є основою для побудови оперативного плану транспортування контейнерних партій із заданим рівнем надійності;

– для прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів на залізничні термінали було розроблено модель на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання, що використовує схему представлення функцій умовної інтенсивності надходження контейнерів у вигляді нерегулярних часових рядів.

Набула подальшого розвитку система АСК ВП УЗ-Є шляхом інтеграції систем підтримки прийняття рішень (СППР) на АРМі оперативних працівників АТ «Укрзалізниця», що реалізують автоматизовану технологію раціонального управління контейнерними перевезеннями при взаємодії з СППР інтермодального оператора.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дисертаційного дослідження, що представляють автоматизовану технологію управління транспортуванням контейнерів у складі системи інтермодальних перевезень, можуть бути використані при тактичному та оперативному плануванні роботи залізничних підсистем при взаємодії з морським транспортом.

Одержані в дисертації результати використовуються при управлінні транспортуванням контейнерів у складі системи інтермодальних перевезень на базі відділу філіалу «Центр транспортного сервісу «Ліски» акціонерного товариства «Українська залізниця». у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) при підготовці фахівців зі спеціальності «Організація перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)» з дисциплін «Управління експлуатаційною роботою» та «Сучасні інформаційні технології в управлінні залізничними підрозділами», «Організація інтермодальних перевезень», курсовому та дипломному проектуванні при підготовці фахівців за освітньою програмою «Транспортні технології», а також при проведенні занять зі слухачами інституту перепідготовки кадрів та підвищення кваліфікації при УкрДУЗТі.

Практичне використання результатів роботи підтверджено актами впровадження.

Особистий внесок здобувача. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає в такому: у роботах [2, 3, 13, 14, 17] проведено аналіз розвитку комбінованих перевезень в Україні і за кордоном і технологій, використовуваних у світі, запропоновано контрейлерну технологію, що сприяє швидкому переходу стиків колій з 1520 на 1435 мм; у роботах [4, 5, 8, 16] визначено економічний ефект від побудови контрейлерного терміналу та економічну доцільність контрейлерних перевезень шляхом порівняння вартостей виконання перевантажувальних операцій на станціях відправлення і призначення та вартості перевезення «мертвої ваги»; у роботах [22, 30] наведено розрахунки збитків від аварійних ситуацій при перевезенні небезпечних вантажів, запропоновано варіанти технологій при перевезенні таких вантажів у міжнародному сполученні; у роботі [31] виконано моделювання комбінованих перевезень, наведено графи станів руху вантажного модуля на станціях перевантаження та систему диференціальних рівнянь Колмогорова для графа; у роботах [6, 7, 12] запропоновано підходи до формування поїздів збільшеної маси і довжини та визначено економічну ефективність від впровадження таких перевезень; у роботах [9, 25, 26] розроблено структуру модулів інформаційно-керуючої системи щодо комбінованого поїзда; у роботі [10] проведено прогнозування тривалості руху поїзда на дільниці та оцінена точність і адекватність результатів; у роботі [11] формалізовано технологічний процес перевезення контейнерів у міжнародному сполученні та розроблено оптимізаційну модель управління інтермодальними контейнерними перевезеннями на основі математичного апарату теорії випадкових потоків; у роботах [28, 29] запропоновано спосіб навантаження-розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу різної висоти підлоги від рівня головок рейок і платформ з різною величиною міжрейкової колії.

Дослідження, висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТі.

Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях: VII, VIII Международных научно-практических конференций «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте» (АР Крым, Судак, 11-13 октября 2012 г., 8–11 октября 2013 г.); 3-й Международной научно-практической конференции «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Днепропетровск, 27–28 февраля 2014 г.); 74-й, 75-й, 76-й, 77-й, 78-й, 79-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 26–28 квітня 2012 р., 24–25 квітня 2013 р., 15–17 квітня 2014 р., 21–23 квітня 2015 р., 26–28 квітня 2016 р., 25–27 квітня 2017 р., 24–26 квітня 2018 р.); 8-й, 9-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» (Харків 5–8 червня 2012 р, 5–7 червня 2013 р.); 10-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики» (Харків 5–7 червня 2014 р.); 11-й Міжнародній науково-практичній конференції «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (Харків 11–13 червня 2015 р.); 30-й Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 25–27 жовтня 2017 р.); 1-й 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 експлуатаційною роботою Українського державного університету залізничного транспорту.

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 31 наукову працю, з яких одинадцять статей опубліковано у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (чотири з них включено до міжнародних

наукометричних баз, у тому числі дві – до бази Scopus) і шістнадцять праць апробаційного характеру, чотири додаткових праці.

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

Повний обсяг тексту дисертації 195 сторінок, з яких обсяг основного тексту складає 138 сторінок друкованого тексту, 48 ілюстрацій, 4 таблиці, список використаних джерел включає 130 найменувань і 5 додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Світлична А. В. Аналіз шляхів розвитку комбінованих перевезень в Україні. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 131. С. 104-108.
2. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Підвищення ефективності контрейлерних перевезень вантажів. *Вісник національного технічного університету «ХПИ»*. 2012. Вип. 33. С. 87-95.
3. Котенко А.М., Шилаєв П.С., Світлична А.В. Концепція організації контрейлерних перевезень «на просторі 1520 і 1435 мм. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 134. С. 22-27.
4. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Визначення доцільності та моделювання контрейлерних перевезень *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 11-17.
5. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Розвиток контрейлерних перевезень вантажів на залізницях України. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 142. С. 37-43.
6. Котенко А. М., Лаврухін О. В., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Шевченко В. І., Пилипейко О. М. Перевезення негабаритних і великовагових вантажів в транспортних системах. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 145. С. 50-59.
7. Лаврухін О. В., Котенко А. М., Світлична А. В., Шевченко В. І. Перевезення контрейлерів довгосоставними і великоваговими поїздами. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2015. Вип. 156. С.5-11.
8. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В., Пупена С. І. Перспективи розвитку комбінованих перевезень *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2013. Вип. 1/3 (61). С. 56–61. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.99185.

9. Колісник А. В. Формування структури і комплексу задач інформаційно-керуючої системи для управління контрейлерними перевезеннями. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. Вип. №3. С. 17-22.

10. Prokhorchenko A., Panchenko A., Parkhomenko L., Nesterenko H., Muzykin M., Prokhorchenko H., Kolisnyk A. Forecasting the estimated time of arrival for a cargo dispatch delivered by a freight train along a railway section. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2019. Vol. 3, № 3 (99). P. 30–38. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується у базі Scopus).

11. Butko T., Prokhorov V., Kolisnyk A., Parkhomenko L. Devising an automated technology to organize the railroad transportation of containers for intermodal deliveries based on the theory of point *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2020 Vol. 1, № 3 (103). P. 6–12. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.156098 (видання індексується у базі Scopus).

12. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Пилипейко О.М., Світлична А. В. Удосконалення технології інтермодальних перевезень вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 74-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. (Харків, 26–28 квітня 2012 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 129. С. 263–264.

13. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень «на просторі 1435 мм і 1520 мм» при застосуванні інтероперабельних технічних засобів і технологій. *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України: тези доповідей 8-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості*. (Харків, 5–8 червня 2012 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2012. Вип. 38. С. 87-88.

14. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Основні напрями організації контрейлерних перевезень «на просторі 1435 мм і 1520 мм». *Проблеми економіки и управления на железнодорожном транспорте:*

матеріали VII Міжнарод. науч.-практ. конф. (Судак, 11-13 жовтня 2012г.)
Київ: ГЭТУТ, 2012. С. 253-254.

15. Пилипейко О. М., Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Нові форми транспортного обслуговування власників вантажів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 75-ї Міжнарод. науч.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 24–25 квітня 2013 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 397–398.

16. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Ресурсозберігаюча технологія контрейлерних терміналів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 75-ї Міжнарод. науч.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 24–25 квітня 2013 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 136. С. 401.

17. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Обґрунтування технологій контрейлерних перевезень. *Проблеми економіки и управління на залізничному транспорті*: матеріали VIII Міжнарод. науч.-практич. конф. (АР Крим, Судак, 8–11 жовтня 2013 г.). Київ: ГЭТУТ, 2013. С. 306–309.

18. Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. Підвищення ефективності функціонування транспортної системи України: *Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України*: тези доповідей 9-ї Міжнарод. науч.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 5–7 червня 2013 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 42. С. 45-46.

19. Котенко А. М., Світлична А. В. Транзитні перевезення і розвиток комбінованого транспорту: *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 76-ї Міжнарод. науч.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 15–17 квітня 2014 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 143. С. 306.

20. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень міжнародними транспортними коридорами.

Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики: тези доповідей 10-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 5–7 червня 2014 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 19-20.

21. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Підвищення ефективності експлуатаційної роботи на основі впровадження єдиних наскрізних технологічних процесів роботи транспортних цехів промислових підприємств і залізниць. *Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий: тезисы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27–28 февраля 2014 г.). Днепропетровск: ДНУЖТ, 2014. С. 51–53.*

22. Котенко А. М., Козодой Д. С., Світлична А. В. Перевезення небезпечних вантажів комбінованим транспортом. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 77-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 21–23 квітня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 151. С. 147.*

23. Світлична А. В. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень за чинниками глобальної логістики. *Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика: тези доповідей 11-ї Міжнар. наук.-практ. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. (Харків, 11–13 червня 2015 р.). Харків: УкрДАЗТ, 2015. Вип. 50. С. 32-33.*

24. 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. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. (Харків, 26–28 квітня 2016 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2016. Вип. 160 (додаток). С. 130.*

25. Бутько Т. В., Колісник А. В. Формування автоматизованої технології комбінованих перевезень на залізничній мережі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: тези доповідей 30-ї Міжнар.наук.-практ.*

конф. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті (м. Харків, 26-27 жовтня 2017 р.). Харків : УкрДУЗТ, 2017. №4. (додаток). С. 5-6.

26. Бутько Т. В., Колісник А. В., Москаленко О. В. Удосконалення структури і комплексу задач АСК ВП УЗ-Є при комбінованих перевезеннях. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 25 – 27 квітня 2017 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 155–156.

27. Бутько Т. В., Колісник А. В., Пархоменко Л. О. Удосконалення організації взаємодії залізничних вузлів та портів при контейнерних перевезеннях. *Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей 1-ої Міжнар. наук.-техніч. конф. (Харків, 24-30 січня 2020 р.)* Харків: УкрДУЗТ, 2020. С. 13

28. Спосіб навантаження-розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу: пат. №74305 Україна, МПК(51) В61В 1/00, В60S 13/00 / Шилаєв П.С., Котенко А.М., Дунаєвський Л.М., Світлична А.В. №u201203893; заяв. 30.03.12, опубл. 25.10.2012, бюл. № 20/2012, 7с.

29. Спосіб навантаження- розвантаження автомобільних причепів на залізничну платформу: пат.№105535, Україна, , МПК(51) В61В 1/00, В61J 1/00, В60S 13/00, E01B / Шилаєв П.С., Котенко А.М., Дунаєвський Л.М., Світлична А.В. №a20120357, заяв. 26.03.2012, опубл. 26.05.2014, бюл. № 10/2014, 8с.

30. Котенко А. М., Козодой Д. С., Світлична А. В. Методики визначення втрат від аварійних ситуацій з небезпечними вантажами. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 141. С.272-280.

31. Котенко А. М., Світлична А. В., Шилаєв П. С. Технології і технічні засоби комбінованих перевезень вантажів за чинниками глобальної логістики *Науковий журнал “ScienceRise”*. 2015. № 1/2(6). С. 21-25.

32. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р.

№ 430-р / Кабінет Міністрів України. Офіційний вісник України. 2018. № 52. С. 533. Ст. 1848. Код акта 90720/2018.

33. Публікація документів Державної Служби Статистики України. Держстат України, 1998-2019. URL: <http://ukrstat.org/>. (дата звернення 15.07.2020).

34. Словаччина з'єдналась з Китаєм новим маршрутом через Україну. URL: <https://mind.ua/news/20202887-slovachchina-z-ednalas-z-kitaem-novim-marshrutom-cherez-ukrayinu> (дата звернення 15.07.2020).

35. Названы топ-10 самых загруженных контейнерных поездов в Украине в 2019 году (инфографика). URL: https://cfts.org.ua/news/2020/02/26/nazvany_top_10_samykh_zagruzhennykh_konteynerykh_poezdov_v_ukraine_v_2019_godu_infografika_57516 (дата звернення 25.06.2020).

36. Freight transported in containers - statistics on unitization URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Freight_transportedin_containers_-_statistics_on_unitisation (дата звернення 25.06.2020).

37. Rail-based intermodal transport in China URL: https://www.unescap.org/sites/default/files/China_Rail-Based%20Intermodal%20Transport.pdf (дата звернення 25.06.2020).

38. Бутько Т. В. Шумик Д. В. Сучасні інформаційні технології в управлінні залізничними підрозділами. Конспект лекцій. Харків. Українська державна академія залізничного транспорту. 2014. 85с.

39. Шапкин А. С. Выбор технико-технологических параметров системы контейнерных перевозок на железнодорожных направлениях сети: дисс. ... канд. техн. наук. 05.22.08. Москва. 2005 г. 151с.

40. Зінько Р. В. Маковейчук О. М. Улященко В. Г. Графова інтерпретація задачі контейнерних перевезень Збірник науково-технічних праць. Львів. *Національний лісотехнічний університет України*. 2007. Вип. 17.4. С. 264-269.

41. Гусейнов Р. Р. Системный подход к определению критериев железнодорожных станций, обслуживающих контейнерный терминал. *Доклад/Транспорт – Железнодорожные перевозки. SWorld –18-27 December 2012.*

42. Сич Є. М., Богомолова Н. І., Андрієнко М. М., Кислий В. М. Економічні аспекти контейнерно-контейнерного обслуговування клієнтури залізничного транспорту. Монографія. *Видавництво «Логос»*. Київ. 2007. 392 с.

43. Мироненко В. К., Мацюк В.І ., Висоцька Г. С., Алексійчук Н.М. Моделирование транзитных транспортных потоков. *Автошляховик України*. Вип.6. 2012. С. 17-22.

44. Кириллова А. Г. Методология организации контейнерных и контейнерных перевозок в мультимодальных автомобильно-железнодорожных сообщениях: автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.22.01. Москва. 2010. 48 с.

45. Бутько, Т. В., Ломотько Д. В., Головки Т. В. Удосконалення сумісної роботи портів та залізничних вузлів на основі логістичних. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2007. №3/6 (27). С. 10-16.

46. Шилаєв П. С. Підвищення ефективності процесу інтеграбельних перевезень вантажів на основі ресурсозберігаючих технологій: автореф..дис...канд. техн. наук: 05.22.01. Харків. 2012. 20с.

47. Кизимиров М. В. Экономическая оценка применения сочлененных платформ для перевозки трейлеров. *Экономика железных дорог*. Москва. №10. 2012. С.75-78.

48. Логвинюк К., Поплавски Т., Шпаков А. Значение интермодальных перевозок и их динамика в Европе. *Логистические системы в глобальной экономике = Logistic Systems in Global Economy: материалы научно-практической конференции 7-28 марта 2012 г. Красноярск*. 2012. С.153-159.

49. Вільковський Є. К., Бурніцький С. М., Дзелендзяк О. Й. Особливості контейнерних перевезень при перетині кордону. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2007. Вип.17.8. С.146-151.

50. Кузнєцов М. М., Сівченко І. В. Розроблення технології комбінованих (контрейлерних) перевезень. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 128. С. 69-72.

51. Снигур О. В. Параметризація технологи контрейлерних перевозок внешнеторгових грузов: автореф. дис...канд. техн. наук: 05.22.08 Москва. 2006. 24с.

52. Шраменко Н. Ю., Рокало Л. В. Оптимізація транспортно-технологічних процесів при перевалці вантажів на припортовому терміналі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2012. №1. С. 37-40.

53. Алексійчук Н. М. Удосконалення технологічного забезпечення контейнерних перевезень з використанням резервів провізних спроможностей залізничного транспорту: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01. Київ. 2013. 24с.

54. Музикіна Г. І. Оптимізація маси вантажних поїздів і колійного розвитку технічних станцій у транспортних коридорах : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.22.20. Дніпропетровськ. 2002. 19 с.

55. Миронюк І. В. Перспективи розвитку контрейлерних перевезень. Оптимізація структури складу комбінованих контрейлерно-контейнерних поїздів. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту*. 2010. Вип. 16. С. 206-215.

56. Ізоніна М. О. Розвиток інтермодальних перевезень в Україні та їхня роль в економіці. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту*. 2010. Вип. 14. С. 6-11.

57. Альошинський Є. С. Оптимізація процесу виконання митних операцій на припортових пунктах переробки міжнародних вантажів. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2008. Вип.3. С 3-7.

58. Яновський П. О. Сучасні вимоги до перспективних технологій перевезень. *Залізничний транспорт України*. 2009. С. 23-26.

59. Переста Г. І., Кузьменко А. І. Удосконалення технології функціонування прикордонних станцій під час інтегрованих перевезень. *Вісник Академії митної служби України*. 2011. № 1 (45). С. 42-47.
60. Демин Ю. В. Железнодорожная техника комбинированого транспорта. *Залізничний транспорт України*. 2011. №6. С. 9-12.
61. Мануева М. В. Обоснование рациональной конструкции платформы для перевозки автопоездов и крупнотоннажных контейнеров. *Вестник ВНИИЖТ*. 2011. №4. С.53-55.
62. F. Russo & U. Sansone The terminal cycle time in road-rail combined transport. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2015. Vol. 186. P. 875-886. DOI: 10.2495/ESUS140781.
63. Краснощек А. А. Совершенствовать технологии перевозок, внедрять высокодоходные услуги. *Железнодорожный транспорт*. 2016. №2. С 4-10.
64. Athanasios Ballis, John Golias. Towards the improvement of a combined transport chain performance. *European Journal of Operational Research*. 2003. №147. P.1-16. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00034-1.
65. Кузьмин Д. В. Организация региональной сети контейнерных терминалов: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.01. Москва. 2015. 24 с.
66. Kalašová A., Kapusta J., Toman P. A Model of Transatlantic Intermodal Freight Transportation Between the European Continent and the United States. “*Naše more*”. 2016. Vol. 63 (1). P. 5-15. DOI: 10.17818/NM/2016/1.2.
67. Boschian V. Dotoli M., Pia Fanti M., Iacobellis Go, W. Ukovich W. A metamodelling approach for performance evaluation of intermodal transportation networks. *European Transport*. 2010. Vol. 46. P. 100-113.
68. Ballis A., Golias J. Towards the improvement of a combined transport chain performance. *European Journal of Operational Research*. 2003. Vol. 152(2). P.420-436. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00034-1.
69. Pouryousef H. Lautala P. White T. Railroad capacity tools and methodologies in the U.S. and Europe. *Journal of Modern Transportation*. 2015. Vol. 23(1). P. 30–42. DOI:10.1007/S40534-015-0069-Z.

70. Dullaert W., Neutens T., Berghe G. V., Vermeulen T., Vernimmen B., Witlox F. MamMoeT: An intelligent agent-based communication support platform for multimodal transport. *Expert Systems with Applications*. 2009. Vol. 36. P. 10280-10287.

71. Stefan Bock. Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains. *European Journal of Operational Research*. 2010. Vol. 200. P. 733-746. DOI: 10.1016/j.ejor.2009.01.046.

72. Tavasszy L., Minderhoud M., Perrin J., Notteboom T. A strategic network choice model for global container flows: specification, estimation and application. *Journal of Transport Geography*. 2011. Vol. 19. P. 1163-1172. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2011.05.005

73. Yang X. J., Low J., Tang L. C. Analysis of intermodal freight from China to Indian Ocean: A goal programming approach. *Journal of transport geography*. 2011. Vol. 19. P. 515–527. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2010.05.007.

74. Bortas I., Brnjac N., Dundović Č. Transport routes optimization model through application of fuzzy logic. *Promet - Traffic&Transportation*. 2018. Vol. 30(1). P. 121–129. DOI: 10.7307/ptt.v30i1.2326.

75. Zhao Y., Liu, R., Zhang X., Whiteing, A. A chance-constrained stochastic approach to intermodal container routing problems. *PLoS One*. 2018. Vol. 13(2). DOI: 10.1371/journal.pone.0192275.

76. Wronka J. Intermodal transport development within the New Silk Road. *Ekonomiczne problemy uslug*. 2017. Vol. 128. P. 107–117. DOI: 10.18276/epu.2017.128-08.

77. Oudani M., El Hilali Alaoui A., Boukachour J. An efficient genetic algorithm to solve the intermodal terminal location problem. *International journal of supply and operations management*. 2014. Vol. 1(3). P. 279–296. DOI: 10.22034/2014.3.02.

78. Kreuzberger E., Konings R. The challenge of appropriate hub terminal and hub-and-spoke network development for seaports and intermodal rail transport in

Europe. *Research in transportation business & management*. 2016. Vol. 9. P. 83–96. DOI: 10.1016/j.rtbm.2016.05.003.

79. Xie Y., Song D. P. Optimal planning for container prestaging, discharging, and loading processes at seaport rail terminals with uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2018. Vol. 119. P. 88–109.

80. Chang Zhu. A novel two-stage heuristic for solving storage space allocation problems in rail–water intermodal container terminals. *Symmetry*. 2019. Vol. 11(10). 1229.

81. Gardiner C. W. Handbook of stochastic methods for physics, chemistry, and the natural sciences, 3rd ed. New York: Springer. 2004. 415 p.

82. Greenwood P. E., Nikulin M. S. A guide to chi-squared testing. New York : John Wiley & Sons. 1996. 280 p.

83. Mauro R. Traffic and Random Processes. Springer International Publishing Switzerland. 2015. 119 p.

84. Daley D., Vere-Jones D. An Introduction to the Theory of Point Processes. Volume I: Elementary Theory and Methods. 2nd Edition. Springer, New York, 2003. 471 p.

85. Хинчин А. Я. Математические методы теории массового обслуживания. *Труды МИАН СССР*. 1955. №49. С. 3–122.

86. Колмогоров, А. Н. Упрощенное доказательство эргодической теоремы Биркгофа–Хинчина. *УМН*. 1938. № 5. С. 52–56.

87. Oppenheim A., Willsky, A., Hamid Nawab, S. Signals & Systems (2Nd Ed.). *Upper Saddle River, NJ, USA : Prentice-Hall, Inc.*, 1996. 1000 p.

88. Большаков И. А., Ракошиц В. С. Прикладная теория случайных потоков. Москва : Советское радио. 1978. 248 с.

89. Daley D., Vere-Jones, D. An Introduction to the Theory of Point Processes. Volume II: General Theory and Structure. 2nd Edition. Springer, New York, 2008. 573 p.

90. Koyama S., Shinomoto, S. Histogram bin width selection for time-dependent Poisson processes. *J. Phys. A: Math. Gen*. 2004. №37. P. 7255–7265.

91. Fisher R. A. On an absolute criterion for fitting frequency curves. *Messenger of Mathematics*. 1912. №41. P. 155–160.
92. Wilks S. The large-sample distribution of the likelihood ratio for testing composite hypotheses. *The Annals of Mathematical Statistics*. 1938. №9. P. 60–62.
93. Schoenberg F. P. A note on the consistent estimation of spatial-temporal point process parameters. *Statistica Sinica*. 2016. №26. P. 861–879.
94. Большаков И. А. Статистические проблемы выделения потока сигналов из шума. Москва: Советское радио. 1969. 464 с.
95. Lando D. On Cox processes and credit risky securities. *Review of Derivatives Research*. 1998. №2 (2–3). P. 99–120.
96. Жерновий Ю. В. Марковські моделі масового обслуговування: Тексти лекцій. Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. 2004. 154 с.
97. Dassios A., Zhao H. Exact simulation of Hawkes process with exponentially decaying intensity. *Electron. Commun. Probab.* 2013. №18. P. 1–13.
98. Isham V., Westcott M. A self-correcting point process. *Stochastic Processes and their Applications*. 1979. №8(3). P. 335–347.
99. Linhart H. The gamma point process. *S. Africa Statist.* 1970. №4. P. 1–17.
100. Birge J. R., Louveaux, F. Introduction to stochastic programming. New York : Springer Science & Business Media. 2011. 485 p.
101. Ermoliev Y., Wets R.J-B. (eds.) Numerical Techniques for Stochastic Optimization. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 1988. 571 p.
102. Culioli J.C., Cohen G. Optimisation stochastique sous contraintes en espérance. *C.R. Acad. Sci. Paris*. 1995. 320(Série I). P. 753–758.
103. Музикіна С. І., Музикін М. І., Нестеренко Г. І. Дослідження пропускнуї спроможності сортувальної станції. *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 2. С. 47–60.
104. Blevins J.R. Identifying restrictions for finite parameter continuous time models with discrete time data. *Econometric Theory*. 2017. № 33, P. 739–754.
105. Лоскутов А. Ю. Анализ временных рядов. Курс лекций. Физический факультет МГУ. Москва: Наука. 2011. 113 с.

106. Shang H. L. Selection of the optimal Box-Cox transformation parameter for modelling and forecasting age-specific fertility. *Journal of Population Research*. 2015. №32(1). P. 69–79.
107. Yaziz S. R., Azizan N. A., Ahmad, M., Zakaria, R., Agawal, M. R., Boland, J. W. Preliminary analysis on hybrid Box-Jenkins - GARCH modeling in forecasting gold price. *Empowering the Applications of Statistical and Mathematical Sciences : Proceedings of The 2nd International Statistical Conference ISM-II (Jan-2014)*. Pahang, Malaysia. 2014. P. 289–297.
108. Brożyna J., Mentel G., Szetela B., Strielkowski, W. Multi-seasonality in the TBATS model using demand for electric energy as a case study. *Economic computation and economic cybernetics studies and research*. 2018. № 52 (1). P. 229–246.
109. Wang S., Hua G., Hao J., Xie C. A cycle deep belief network model for multivariate time series classification. *Mathematical Problems in Engineering*. 2017. №2. P. 1–7.
110. Kuremoto T., Kimura S., Kobayashi K., Obayashi M. Time series forecasting using a deep belief network with restricted Boltzmann machines. *Neurocomputing*. 2014. № 137. P. 47–56.
111. Assaad M., Boné R., Cardot H. A new boosting algorithm for improved time-series forecasting with recurrent neural networks. *Inf. Fusion*. 2008. № 9 (1). P. 41–55.
112. Hochreiter S., Schmidhuber, J. Long short-term memory. *Neural Computation*. 1997. № 9 (8). P. 1735–1780.
113. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning. *Nature*. 2015. № 521 (7553). P. 436–444.
114. Покровская М. А. Метод прогнозирования изменения трафика с использованием нейросетевой модели. *Телекоммуникации и Транспорт*. 2012. №6. С. 27–30.
115. Croston J. D. Forecasting and stock control for intermittent demands. *Operational Research Quarterly*. 1972. № 23 (3). P. 289–303.

116. Kirkpatrick S. Gelatt C. D. Vecchi M. P. Optimization by Simulated Annealing. *Science*. 1983. № 220 (4598). P. 671–680.
117. Busetti F. Simulated annealing overview. May 2001. URL:<http://http://www.aiinfinance.com/saweb.pdf>. (access date: 18. 12. 2019).
118. Bohachevsky I. O., Johnson M. E., Stein M. L. Generalized simulated annealing for function optimization. *Technometrics*. 1986. № 28. P. 209–217.
119. Anily S., Federgruen A. Simulated annealing methods with general acceptance probabilities. *Journal of Applied Probability*. 1987. № 24. P. 657–667.
120. Prince A. H. Capacity factors in intermodal road-rail terminals: diss... m. sc. of logistics and transportation: Göteborg, Sweden, 2015. 125 p.
121. Woxenius J., Bärthel F. Intermodal road–rail transport in the European Union. *The future of intermodal freight transport*. ed. Konings R., Priemus H., Nijkamp P. London: Edward Elgar Publishing. 2008. 360 p.
122. Su Y., Zhang Q., Yuan Z., Gao Y., Ding S. Quantitative analysis of human error probability in high-speed railway dispatching tasks. *IEEE Access*. 2020. №8 P. 56253–56266.
123. Baranyi A., Racz G., Saghi B. Application of simulation systems in planning and training of railway operation. *Formal methods for railway operation and control systems: Proceedings of symposium FORMS2003*. L’Harmattan, Budapest, 2003.
124. Wang Y., Ye X., Zhou H., Zha H., Song L. Linking micro event history to macro prediction in point process models. *Proceedings of the 20-th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, PMLR*. 2017. № 54. P. 1375–1384.
125. Лаврухін О. В., Долгополов П. В., Петрушов В. В., Ходаківський О. М. Інформаційні системи та технології при управлінні залізничними перевезеннями: навчальний посібник. Харків. 2011. 118с.
126. Скалозуб В. В., Соловьев В. П., Жуковицкий И. В., Гончаров К. В. Интеллектуальные транспортные системы железнодорожного транспорта (основы инновационных технологий: пособие. Издательство

Днепропетровського національного університета залізничного транспорту ім. акад. В.Лазаряна. 2013. 207 с.

127. Бутько Т. В. Шумик Д. В. Сучасні інформаційні технології в управлінні залізничними підрозділами: конспект лекцій. Харків: УкрДАЗТ. 2014. 85с.

128. Звіт про результати дослідження ринку перевезення вантажів залізничним транспортом за 2017-2018 роки. URL: <https://amcu.gov.ua/news/zvit-pro-rezultati-doslidzhennya-rinku-perevezennya-vantazhiv-zaliznichnim-transportom> (дата звернення 15. 07. 2020).

129. Збірник тарифів на перевезення вантажів залізничним транспортом у межах України та пов'язані з ними послуги та коефіцієнти до збірника тарифів URL:https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/tariff_conditions/transportation_in_ukraine/ (дата звернення 15. 07. 2020).

130. Балака Є. І., Зоріна О. І., Колеснікова І. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навч. посіб. Харків: УкрДАЗТ. 2005. 210 с.