

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 обгрунтовано 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. Обгрунтовано 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 05.22.01 – «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 «ХПІ»*. 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. *Перспективи взаємодіяння залізничних і промислових підприємств*: тези доповідей 3-й Міжнарод. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 27–28 лютого 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
1.1 Аналіз стану вантажних перевезень в Україні	29
1.2 Аналіз розвитку контейнерних перевезень в Україні і за кордоном	33
1.3 Аналіз стану наукових досліджень в області інтермодальних перевезень в Україні та за кордоном	50
1.4 Висновки до розділу 1	60
РОЗДІЛ 2 ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМИ КОНТЕЙНЕРНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В РАМКАХ СИСТЕМИ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	62
2.1 Передумови формалізації процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями та аналіз факторів, що впливають на вибір стратегії доставки контейнерів до порту	62
2.2 Вибір математичного апарату для формалізації процесу прибуття контейнерів до термінальних станцій	66
2.3 Дослідження процесу накопичення контейнерів на термінальних залізничних станціях за допомогою математичного апарату випадкових потоків	68
2.4 Формування моделей оцінювання імовірнісних характеристик контейнеропотоків на термінальних залізничних станціях	80
2.5 Формалізація процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями у вигляді задачі стохастичного програмування	88
2.6 Формування математичної моделі	90

	19
2.7 Висновки до розділу 2	95
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ В УМОВАХ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	99
3.1 Аналіз вихідних даних та методів прогнозування часових рядів	99
3.2 Принципи застосування моделей глибинного навчання для прогнозування часових параметрів та метод кодування даних функцій інтенсивності контейнеропотоків	102
3.3 Принципи функціонування прогновної моделі із використанням нейронних мереж на основі архітектури довгої короткострокової пам'яті	107
3.4 Проведення моделювання та аналіз отриманого прогнозу	112
3.5 Обробка вихідних даних оптимізаційної моделі та моделювання параметрів потоків надходження контейнерів	119
3.6 Вибір методу оптимізації моделі	125
3.7 Оптимізація моделі	129
3.8 Висновки до розділу 3	134
РОЗДІЛ 4 УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ	137
4.1 Передумови розробки автоматизованої технології формування і просування потоків контейнерів	137
4.2 Розробка вимог до системи підтримки прийняття рішень в межах автоматизованої системи формування та просування потоків контейнерів	139

	20
4.3 Удосконалення структури і комплексу задач АСК ВП УЗ –Є в умовах перевезення потоків контейнерів	144
4.4 Визначення економічної доцільності запропонованої технології	147
4.5 Висновки до розділу 4	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 пропускної 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;
- сформулювати 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 графі 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.

РОЗДІЛ 1

ОБГРУНТУВАННЯ РОЗВИТКУ ТА СТАНУ ДОСЛІДЖЕННЯ В ОБЛАСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

1.1 Аналіз стану вантажних перевезень в Україні

Залізничний транспорт – один із основних видів транспорту, на який приходить значна частка вантажних перевезень територією України. Щорічно через територію нашої держави перевозиться понад 60 млн. т транзитних вантажів. Потенційні можливості нашої країни сягають в межах 220 млн. т транзитних вантажів і це є стратегічною перспективою для її розвитку. Згідно основним засадам Транспортної стратегії України до 2030 року планується збільшення контейнерних перевезень територією України на транспортних маршрутах «ЄС-Китай», «ЄС-Іран, Індія» і «ЄС-Туреччина» до 1 млн TEU у 2025 році і не менше 2 млн TEU у 2030 році. При цьому до 2025 року планується досягти частки вантажоперевезень в інтермодальних транспортних одиницях не менше 10%, а в 2030 році - не нижче 20% [32].

Отже питання розвитку інтермодальних контейнерних перевезень є актуальним на сьогоднішній день. Саме такий вид перевезень сприятиме збільшенню транзиту через територію України і обсягів вантажних перевезень в цілому.

Статистика свідчить, що з кожним роком об'єми вантажних перевезень по кожному виду транспорту зменшуються. Однією з причин падіння обсягів перевезень пов'язане зі складною ситуацією на сході України починаючи з 2014 року, яка привела до економічної нестабільності в країні; зменшення масштабів зовнішньої торгівлі. Отже, це спричинило падіння промислового виробництва, скорочення об'ємів надання послуг в економіці та падіння об'ємів вантажних перевезень.

Динаміка перевезень вантажів всіма видами транспорту територією України наведена на рисунку 1.1 [33].

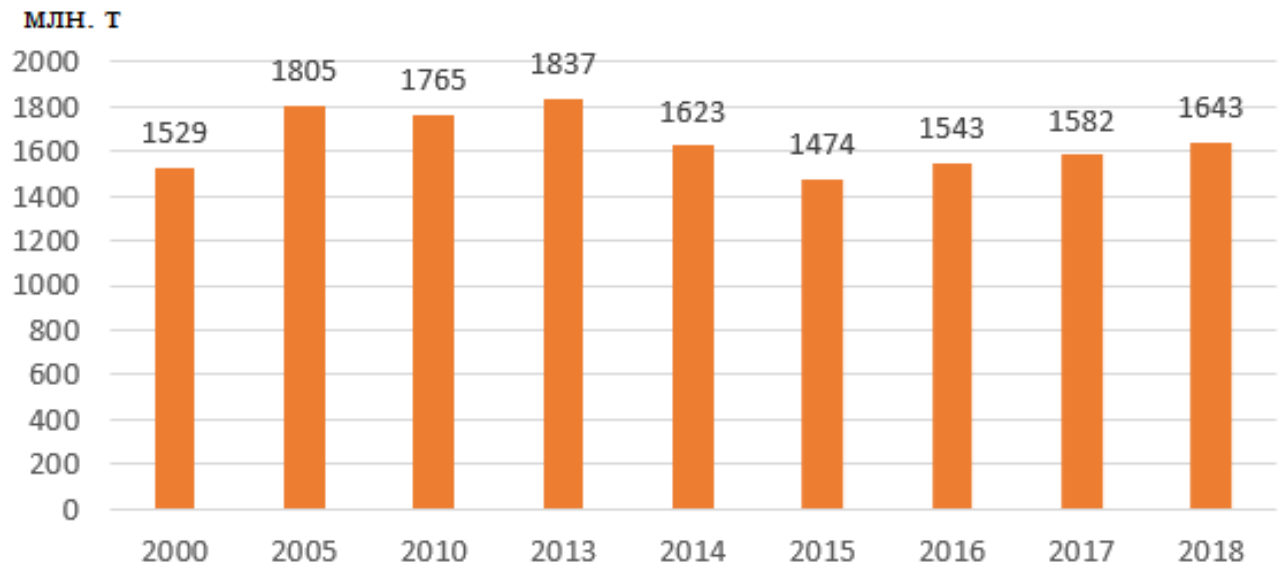


Рисунок 1.1– Динаміка розподілу перевезень вантажів всіма видами транспорту за 2000-2018 р.

Виходячи з вищенаведених даних, видно, що максимальний обсяг вантажних перевезень був у 2013 році– 1837 млн. т, починаючи з 2014 по 2015 роки відбулось зменшення обсягу перевезень вантажів до 1474 млн. т, що на 19,76 % менше ніж у 2013 році. З 2016 по 2018 роки відбувається зростання але до обсягів 2013 року так і не досягло.

Аналізуючи обсяг вантажних перевезень окремо по кожному виду транспорту, спостерігається закономірність збільшення долі автомобільного транспорту не зважаючи на падіння загального обсягу вантажних перевезень. Статистичні дані наведено на рисунку 1.2. Дані по обсягах вантажних перевезень автомобільним транспортом представлено з урахуванням перевезень вантажів власним автотранспортом згідно з Державною службою статистики України. [33]

Найбільшу частку від всього об'єму вантажних перевезень займає автомобільний. В порівнянні з 2014, у 2018 році його доля збільшилася на 3,68%. Частка залізничного транспорту складає 19.62%, що на 4.18% менше ніж

у 2014 році. Це свідчить про те, що частка залізничних перевезень, які втратила залізниця позначились на збільшенні обсягів автомобільним транспортом. Щоб залізничні перевезення були конкурентоспроможними необхідно створювати привабливі умови для залучення клієнтів. Тому актуальним стає питання розвитку інтермодальних перевезень, які дозволяють поєднувати переваги декількох видів транспорту.

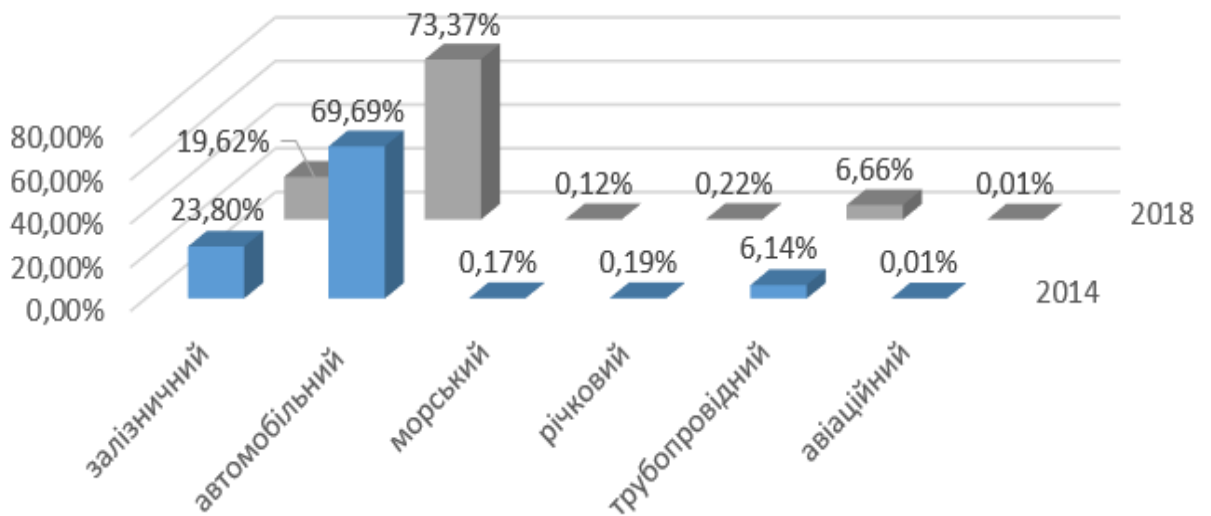


Рисунок 1.2 – Діаграма розподілу часток обсягів вантажних перевезень за видами транспорту за 2014, 2018 р.р.

Були проаналізовані обсяги вантажних перевезень залізничним і автомобільним транспортом по областях України. Результати аналізу наведено на рисунках 1.3, 1.4.

Порівнюючи обсяги перевезень вантажів цими видами транспорту, автомобільний все ж таки домінує над залізничним у внутрішніх перевезеннях в межах кожної області і є основним конкурентом залізниці при перевезенні вантажів. Наприклад максимальні показники перевезень залізничним транспортом у Дніпропетровській області за 2013 рік – 96774 тис. т, автомобільним транспортом – 376121 тис. т у 2013 році, що на 74,27% більше ніж залізничним. В умовах падіння економіки тенденція зменшення обсягів перевезень спостерігається на обох видах транспорту. В цих умовах доцільне

одночасне використання декількох видів транспорту, а саме інтермодальних перевезень, які дозволять об'єднати спільні зусилля обох видів транспорту для залучення нових клієнтів і збільшення обсягів вантажних перевезень.

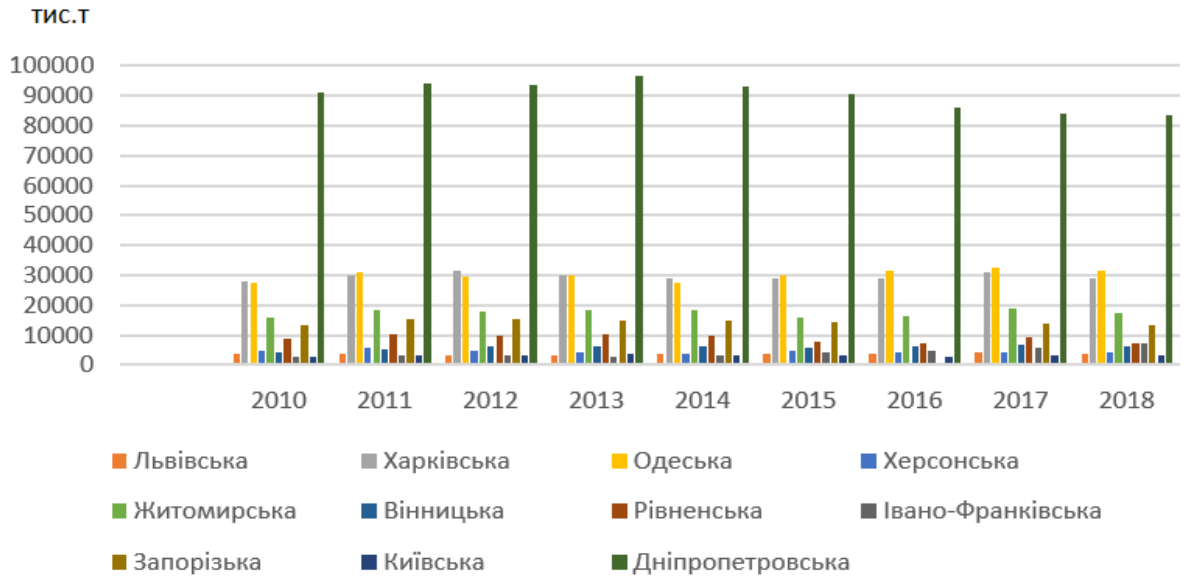


Рисунок 1.3 – Динаміка розподілу обсягів вантажних перевезень залізничним транспортом за 2010-2018 р.р.



Рисунок 1.4– Динаміка розподілу обсягів вантажних перевезень залізничним транспортом за 2010-2018 р.р.

Різновидом інтермодальних перевезень є контейнерні і контрейлерні перевезення. Контрейлерні перевезення – комбіновані залізнично-автомобільні перевезення причепів, напівпричепів, трейлерів або знімних кузовів на залізничній платформі (бувають з супроводом та без супроводу) [2]. Контейнерні перевезення - це перевезення вантажів в контейнерах. Контейнер – це стандартний закритий вантажний модуль, який можна використовувати безліч разів (оборотна тара). Контейнери застосовують для перевезення вантажів в інтермодальних або мультимодальних (змішаних) перевезеннях. Одна з головних переваг цих перевезень – стандартизація. Завдяки використанню єдиних розмірів модуля і розташуванню кріплень, контейнер легко перевантажувати з одного виду транспорту на інший. Найпоширеніші розміри контейнерів за стандартом ISO 668 - це 20 і 40 футів (6,1 і 12,2 м в довжину відповідно). У футах вказується обсяг контейнера згідно футового еквіваленту. Один 20-футовий контейнер – це загальноприйнята одиниця виміру TEU. Такі контейнери часто називають морськими.

1.2 Аналіз розвитку контейнерних перевезень в Україні і за кордоном

В Україні з кожним роком набувають популярності контейнерні перевезення. Це пов'язано з тим, що велика кількість товарів імпортується в Україну з Китаю, Америки, Європи в контейнерах різними видами транспорту, при цьому більша частина шляху доводиться на морський. Значний об'єм цих товарів продається через інтернет-магазини. На даний момент ритейл (роздрібна торгівля) є однією з великих складових національного доходу України і становить 13,9% в структурі ВВП, що в два рази перевищує ємність логістичного ринку. Кожному клієнту зручно коли товари переміщуються з заводу або складу до кінцевого пункту призначення. Виникає питання організувати доставку будь-яких товарів з будь-якої частини світу до кінцевого

споживача за принципами логістики, а саме «точно в строк», «від дверей до дверей», а також з урахуванням принципу «останньої милі».

За загальнодоступною статистикою протягом восьми місяців 2018 року за маршрутом «Китай-Європа-Китай» прослідувало близько 2 000 контейнерних поїздів. Кількість контейнерів, перевезених за напрямом «Європа-Китай», за перші вісім місяців 2018 склала більше 450 тисяч TEU - майже в два рази більше, ніж за аналогічний період в 2017. Використання залізничного транспорту на маршруті «Китай-Євросоюз» - це зручна альтернатива швидкому, але дорогому авіатранспорту, з одного боку, а також набагато більш дешевому, але повільному морському транспорту - з іншого.

В Україні одним із найбільш успішних міжнародних проєктів став поїзд, що прямує з Китаю до Словаччини через Україну. Починаючи з лютого 2018 року, ним перевезено понад 6 тис. контейнерів. Загальний час проїзду становив чотирнадцять днів, і поїзд складався з 44 40-футових контейнерів для різних клієнтів та з різними вантажами [34]. Контейнерними і вантажними поїздами у 2019 році було перевезено 384 тис. TEU залізницею, що на 14,64% більше, ніж в 2018 році. Доля контейнерних вантажів в обсязі залізничних перевезень досягла 1.77%. На даний момент по території України курсує 41 контейнерний поїзд, з яких 32 курсують на регулярній основі. Протягом 2019 року була організовано курсування 26 нових контейнерних поїздів [35].

Більш детальна статистика розподілу кількості контейнерів перевезених поїздами територією України за 2019 рік наведена на рисунку 1.5

Позитивну динаміку демонструють міжнародні поїзди «Вікінг», Білорусь-Румунія, Росія-Польща. Поїздом «Вікінг» у 2019 році було перевезено 9107 TEU що на 34% більше ніж у 2017 році; поїздом Білорусь-Румунія було перевезено 8184 TEU, поїздом Росія-Польща перевезено 6358 TEU.

У внутрішньому сполученні найбільш затребуваний напрям перевезень контейнерів Нікополь-Чорноморськ-Поромна – 25430 TEU. За обсягами перевезень також лідирують контейнерні поїзди Тернопіль-Чорноморська – 14638 TEU, Нижньодніпровськ-Пристань-Чорноморська-15537 TEU,

збільшення відбулось приблизно на 25% в порівнянні з 2018 роком, Рожнятів–Одеса-Порт –13402 TEU.

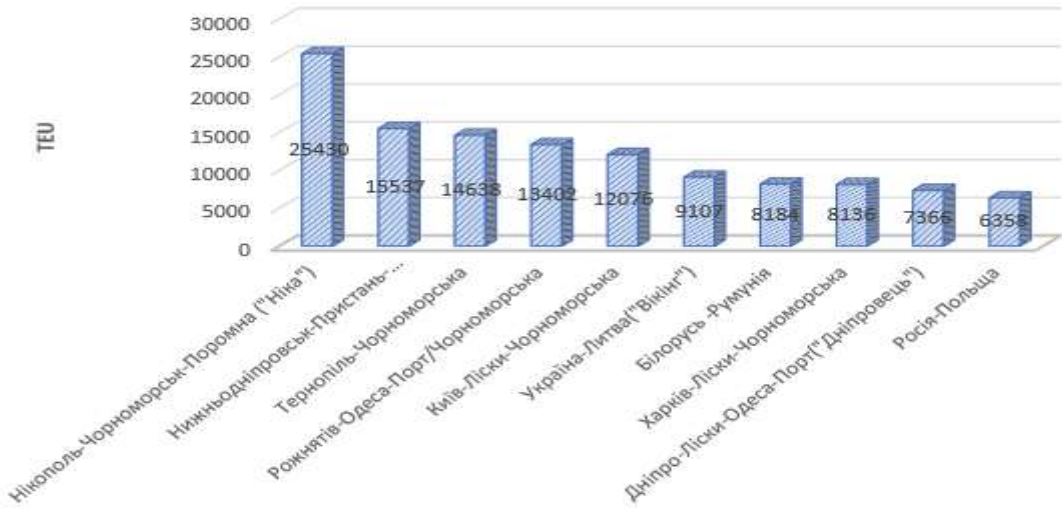


Рисунок 1.5 – Діаграма розподілу кількості контейнерів перевезених поїздами територією України по напрямках за 2019 р.

Щодо обсягів перевезень за видами вантажів перевезених контейнерними поїздами за 2017 рік статистика наведена на рисунку 1.6.



Рисунок 1.6 – Діаграма розподілу вантажів перевезених в контейнерах в мережі АТ Укрзалізниця за 2017 р.

Всього було використано 114996 контейнерів для великих замовлень у складі яких перевозились вантажі, наведені на рисунку 1.6. Велика частка прийшла на чорні метали 27%, зерно 18%, хімікати 10%. Дрібними замовленнями перевозились такі вантажі як продукти крохмальні, папір та картон, кокс, нафта та нафтопродукти, лісові вантажі і інші. Було використано 16234 контейнерів.

Щодо розподілу перевалки контейнерів у портах статистика наведена на рисунку 1.7.

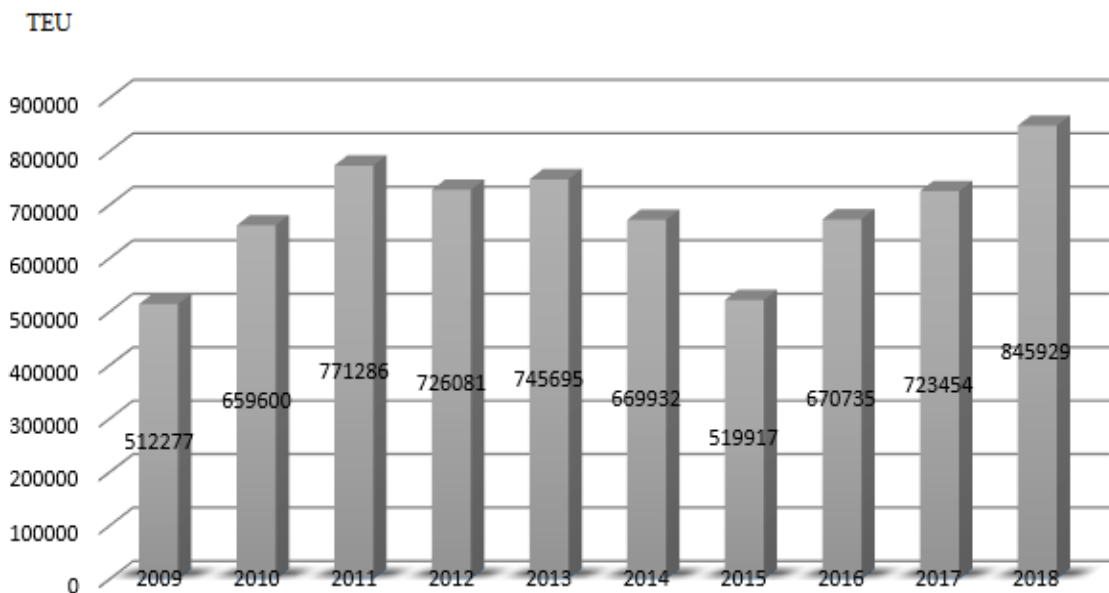


Рисунок 1.7– Динаміка розподілу перевалки контейнерів у портах (імпорт, експорт), TEU

З 2016 року спостерігається позитивна динаміка перевалки контейнерів у портах. За 2018 рік в українських портах було перевалено 845.9 тис. TEU. У тонах вантажообіг контейнерних вантажів склав 10,9 млн. Цей показник став рекордним за останнє десятиліття.

Статистика свідчить, що найбільший обсяг контейнерних перевезень обробляється у портах України, так як завдяки своєму геополітичному

положенню, Україна може виступати головною зв'язуючою ланкою між активно розвиваючим свої торговельні зв'язки Китаєм та країнами Західної Європи. Цьому також сприяє наявність розвиненої транспортної інфраструктури; зв'язок головних морських портів України – Одесою, Чорноморськом та Южним з найбільшими портами Європи, завдяки судноплавним лініям прямого сервісу, які співпрацюють з портами України [33].

На українські порти формується вантажопотік не тільки з Росії й Казахстану, але й у рамках міжнародного транспортного коридору «Балтійське море – Чорне море» і ТРАСЕКА: з північних країн, Прибалтики, зростають обсяги вантажовідправлень в Туреччину, Ізраїль, країни Близького Сходу тощо. Одночасно з використанням для перевезень транспортного коридору Азія – Європа зарубіжні вантажовідправники більшу частину свого експорту направляють саме в українські морські порти [7].

Контрейлерні перевезення в Україні розвиваються повільніше ніж контейнерні, у зв'язку з необхідністю перевозити залізницею достатньо велику масу вантажного модуля, а також необхідністю створення та утримання парку спеціалізованих залізничних платформ для можливості вписування вантажних модулів у габарити, що збільшує собівартість таких перевезень. Також недостатньо технічних засобів і технологій для організації контрейлерних перевезень в Україні [31].

В Україні перші проби контрейлерних перевезень зафіксовані на початку 90-х, коли на Львівській залізниці організовували пробні перевезення автопоїздів через карпатські перевали. Спочатку для цих цілей використовували звичайні залізничні платформи, потім з'явилися спеціальні платформи власного українського виробництва. Перший український контрейлерний поїзд «Вікінг» був відправлений в свій рейс в 1998 р. Курсував він між Іллічівськом (порт на Чорному морі, Одеська область) та литовським портовим містом Клайпеда. Проходив маршрут через Мінськ. Досвід, отриманий при організації «Вікінга», в значній мірі став у нагоді при

організації наступного контрейлерного поїзда «Ярослав» за маршрутом Київ - Славкув - Київ [3].

Вперше комбінований потяг «Вікінг» (вантажем для перевезення можуть бути контейнери або автомобільні трейлери) був відправлений з Іллічівська до Клайпеди 6 лютого 2003 р. Довжина маршруту складала 1733 км, час перебування в дорозі – 59 год (рис.1.8).



Рисунок 1.8 – Схема руху контрейлерного поїзду «Вікінг»

Поїзд комбінованого транспорту «Вікінг» є спільним проектом залізниць Литви, Білорусі, України, стивідорних компаній і портів Клайпеда, Іллічівськ і Одеса. З огляду на перспективність проекту «Вікінг» в області залучення додаткових обсягів перевезень вантажів, його географія поступово розширюється: 2012 рік - ЕООД «ІБП - Вантажні перевезення» (Болгарія); 2013 рік - ДП «Залізниця Молдови»; 2014 року - АТ «ЧФР Марфа»; 2015 - АТ «Грузинська залізниця»; 2016 - ЗАТ «Азербайджанські залізниці». [8]

На сьогоднішній день маршрут проходить через Болгарію, Румунію, Молдову, Азербайджан, Грузію, Україну, Білорусь і Литву і з'єднує ланцюг морських контейнерних і контрейлерних ліній Балтійського регіону з аналогічною системою Чорного і Каспійського морів. Поїзд курсує тричі на тиждень, при необхідності можливо курсування щоденно. Загальна довжина його маршруту становить 1766 км. Мінімальний інтервал курсування — два рази на тиждень, максимальний — два рази в день. У складі «Вікінга» початково було 40 платформ з контейнерами загальною вагою до 6000 тон. Проте, кількість платформ та інших вагонів може змінюватись залежно від потреб і замовлень. Поїздом перевозяться 20- і 40-футові контейнери, а також напівпричепи та автопотяги (контрейлери), що надходять у порт Клайпеда з країн Скандинавії і Західної Європи морським транспортом, а також через поромну переправу Клайпеда (Литва) — Мукран (Німеччина), і далі відправляються до Білорусі, України, країн Кавказу, Близького Сходу через порти Одеси та Чорноморська, і у зворотному напрямку. До складу поїзду також включаються пасажирські вагони для проїзду водіїв і провідників-вантажовідправників. Групи вагонів для потягу «Вікінг» готують на великих залізничних станціях України, таких як Київ-Ліски, Луганськ-Ліски, Харків-Ліски, Дніпропетровськ-Ліски, Нікополь, Запоріжжя-Ліве, Новомосковськ-Дніпровський і Чорноморська.

На рівні експедиторських асоціацій Литви, Білорусі, України і Туреччини існує домовленість про продовження маршруту в через транспортний коридор №9 (Балтійське море - Чорне море) до Туреччини з можливістю продовження до Узбекистану з участю паромних переправ. У період до 2007 р. він виконував переважно контрейлерні перевезення. В теперішній час потяг здебільшого перевозить контейнери. Також одним із успішних проєктів створених у 2003р. можна вважати контрейлерний поїзд «Ярослав», який курсує в межах Київ – Славкув (Польща) по сьогоднішній день.

Основними причинами, що гальмують розвиток контрейлерних перевезень в Україні – це відсутність рухомого складу, який би міг без

обмежень експлуатуватися на залізницях як на колії 1520 мм, так і на колії 1435 мм, без перевантажувальних операцій; щодо перевезень, які передбачають операції перевантаження, то вони завдають залізничному транспорту збитків через пошкодження вантажів і рухомого складу, призводять до значних витрат часу та праці особливо при транспортуванні небезпечних вантажів, які не підлягають перевантаженню; щодо вписування в габарит контейлерної техніки, можна відмітити, що автопоїзда більшості типів можуть перевозитися наявним вагонним парком залізниць на контейнерних платформах, обладнаних під перевезення колісної техніки. Проте для розширення номенклатури автопоїздів, що перевозяться, необхідно модернізувати платформи з пониженням рівня вантажних майданчиків [1].

Інтермодальний сегмент залізничних вантажних перевезень в Європі демонструє неабиякі показники приросту, не тільки у відношенні тонажу (+ 50%), але і щодо ткм (+ 32%), що розвивається значно позитивніше, ніж залізничний вантажний транспорт загалом. Інтермодальні перевезення за участю залізниць є єдиним ринковим сегментом загальних європейських залізничних вантажоперевезень, який приріст в обсягах. Статистичні дані наведені на рисунку 1.9, представлені у процентному відношенні, базовий показник прийнято за 2005 рік –100%.

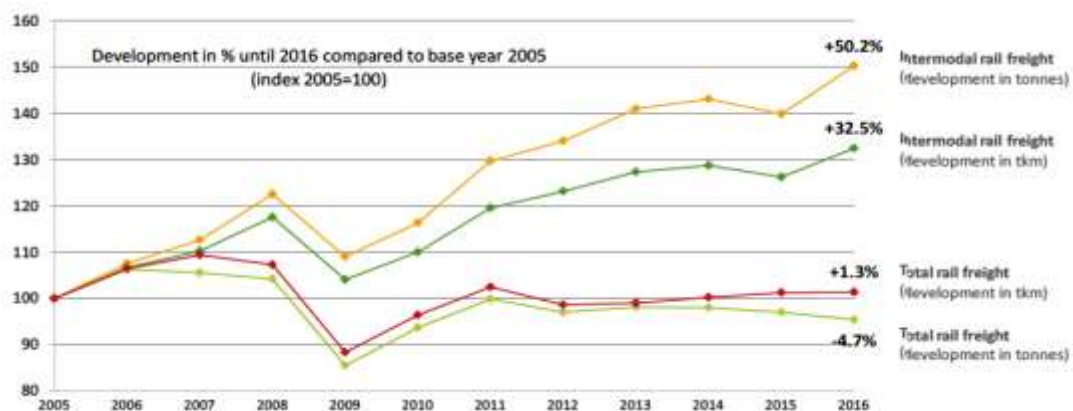


Рисунок 1.9 – Динаміка розподілу обсягів залізничних перевезень загалом і інтермодальних перевезень за участю залізниць з 2005-2016 роки в межах ЄС

На рисунку 1.10 наведена статистика обсягів інтермодальних перевезень за участю залізниць у процентному відношенні від загальних обсягів залізничних вантажних перевезень.

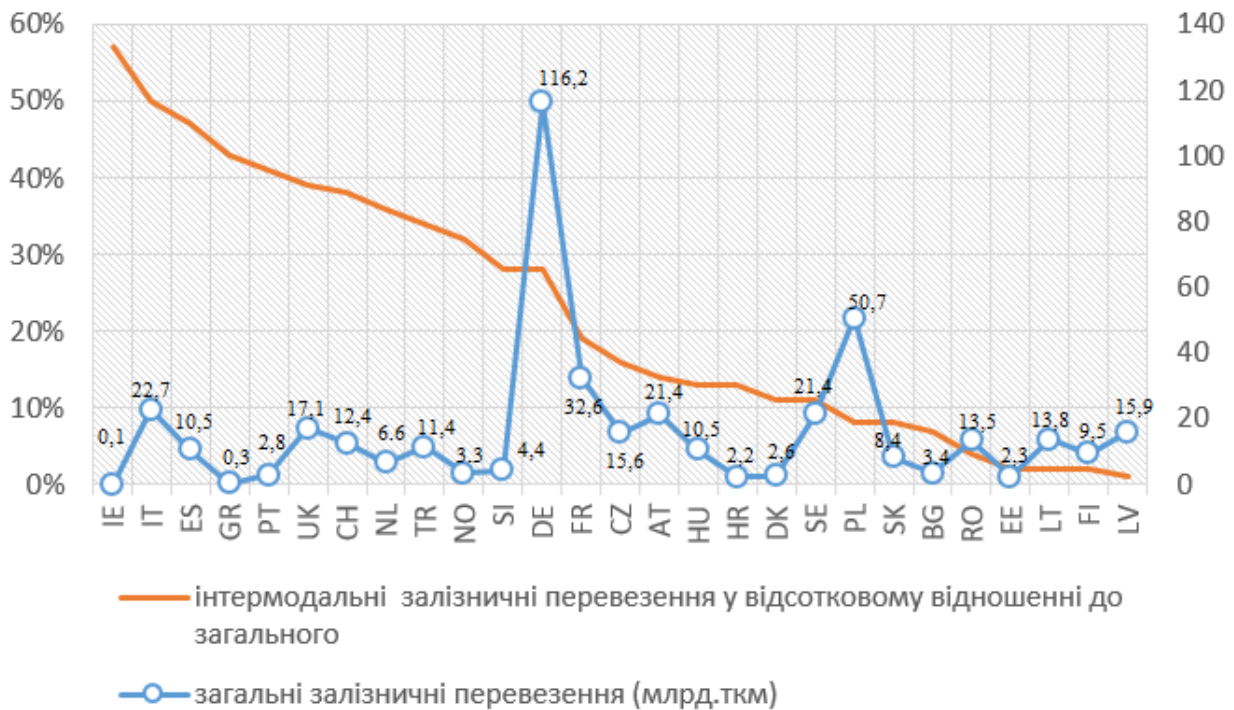


Рисунок 1.10 – Розподіл обсягів інтермодальних перевезень за участю залізниць у процентному відношенні від загальних обсягів залізничних вантажних перевезень по країнах ЄС, (млрд. ткм), 2016 р.

Статистичні дані сформовані за участю 24 країн показують розбіжність долі інтермодальних перевезень за участю залізниць, які коливаються від 1%, як у Латвії і досягають до 57% від загального обсягу як у Ірландії. Слід відмітити, що загальний обсяг залізничних перевезень у Ірландії 0,1 млрд ткм, а в Латвії 15,9 млрд ткм, що на 15,8 млрд ткм більше.

Більш детальний аналіз інтермодальних перевезень, який наведено на рисунку 1.11, за участю залізничного транспорту показав, що найвищі показники були зафіксовані у Греції (60,6%), Італії (60,5%), Ірландії (59%),

Іспанії (51,9%), Португалії (45,5%), Данії (43,3%) і Німеччині (39,9%), а також в Норвегії (58,6%) і Швейцарії (57,2%), більшу частку яких займає перевезення контейнерів і знімних кузовів. Контрейлерні перевезення, з супроводом і без розповсюджені в деяких країнах, а саме в Германії (12,9%), Норвегії (22%), Швеції (11%), Швейцарії (15%). В інших країнах їх немає, або доля таких перевезень зовсім незначна [36].

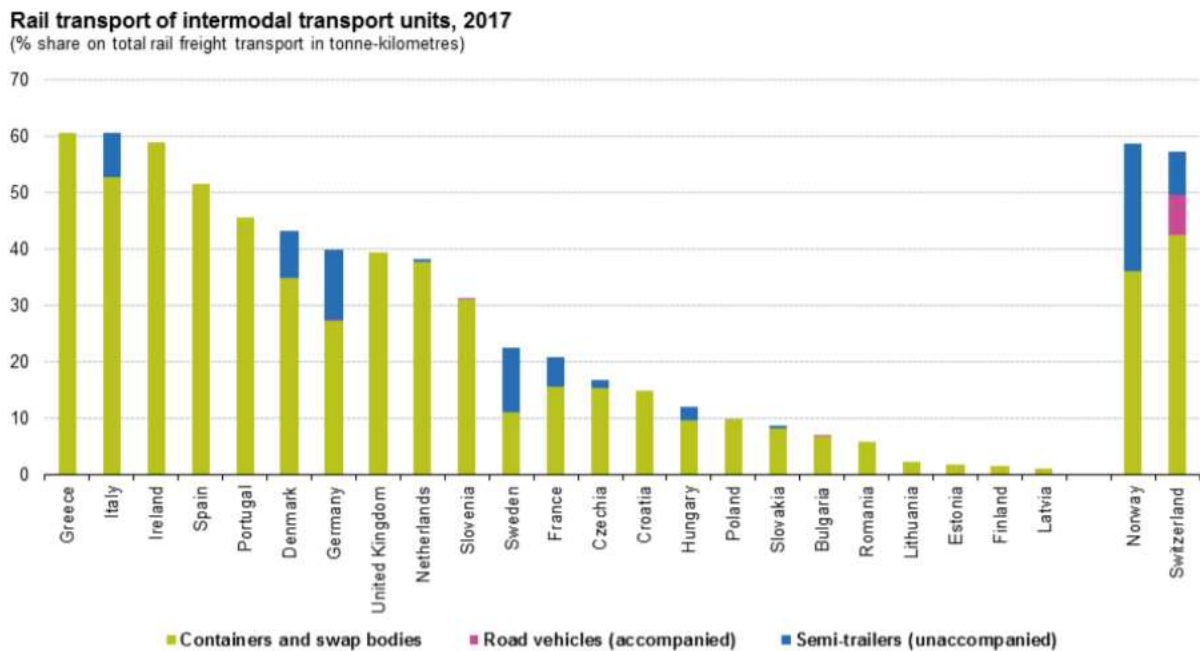


Рисунок 1.11 – Розподіл обсягів перевезень контейнерів і знімних кузовів, трейлерів з супроводом та без, залізничним транспортом у складі інтермодальних перевезень по країнах ЄС

Щодо обороту контейнерів у Китаї особливо спостерігається стабільне збільшення кількості їх транспортування залізнично – морськими шляхами у зв'язку з розвитком проекту «Новий шовковий шлях». Використання залізничного транспорту на маршруті «Китай-Євросоюз» - це зручна альтернатива швидкому, але дорогому авіатранспорту, з одного боку, а також набагато більш дешевому, але повільному морському транспорту - з іншого.

За загальнодоступною статистикою протягом восьми місяців 2018 року за маршрутом «Китай-Європа-Китай» прослідувало близько 2 000 контейнерних поїздів. Кількість контейнерів, перевезених за напрямом «Європа-Китай», за перші вісім місяців 2018 склала більше 450 тисяч TEU - майже в два рази більше, ніж за аналогічний період в 2017.

У портах Китаю спостерігається значний приріст перевалки контейнерів. Статистика експорту/імпорту перевалки контейнерів крупних портів Китаю наведена на рисунку 1.12 [37].

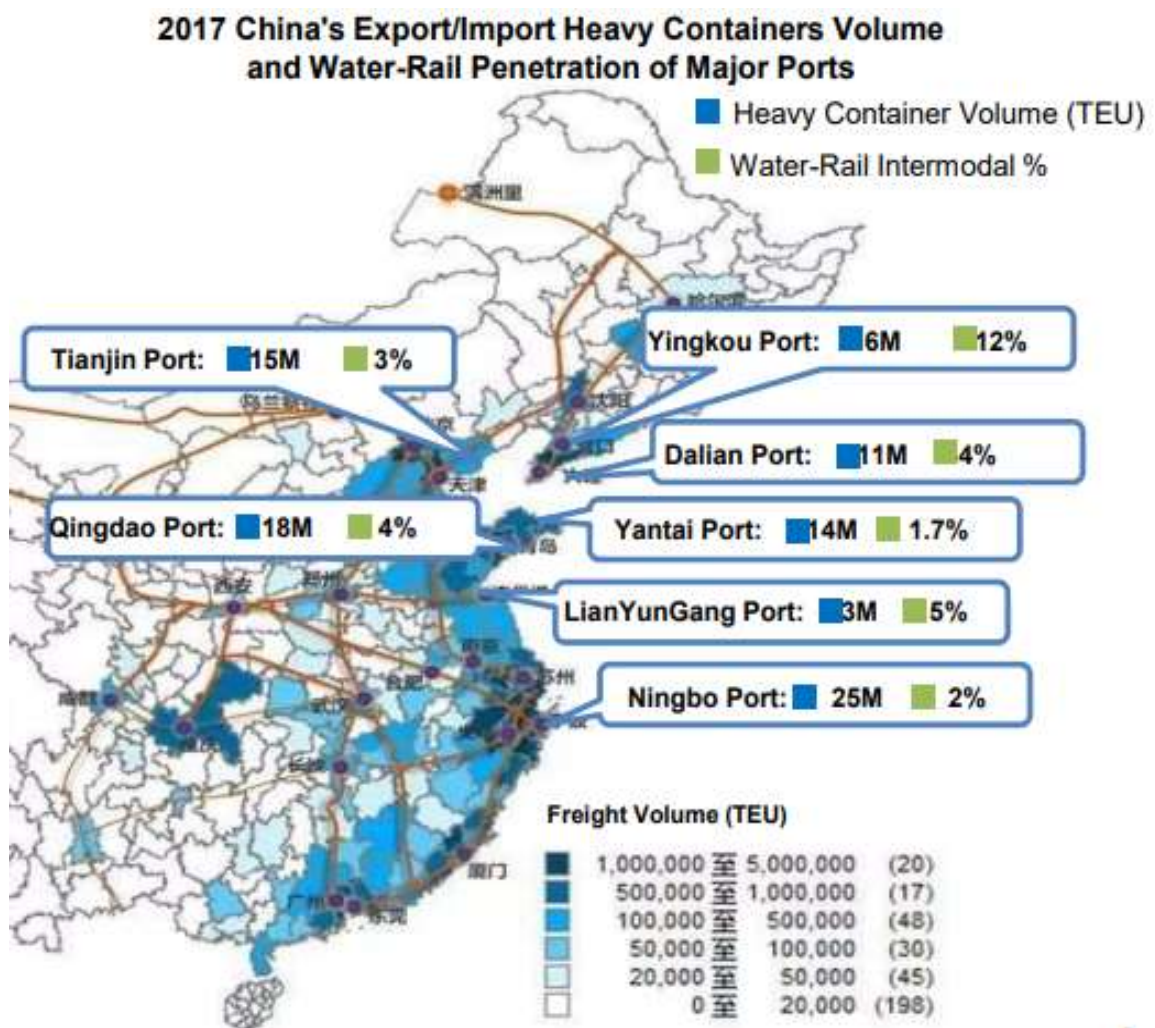


Рисунок 1.12 – Обсяги перевалки контейнерів в основних портах Китаю по всім сполученням і у залізнично-морському сполученні (експорт/ імпорт)

Статистичні дані свідчать, що за січень –травень 2018 року у портах Китаю було перевалено 1.75 мільйонів TEUs у залізнично-морському сполученні, що складає 34.8 % відзагального обсягу перевалки контейнерів.

Прогнозна оцінка на 2020 рік показує збільшення транспортування контейнерів залізнично-морськими шляхами до 8,5 млн. TEUs.

Виходячи з вищенаведеного зрозуміло, що інтермодальні перевезення в країнах Європи займають значну частку серед вантажних перевезень. Їх обсяг збільшується з кожним роком. Адже інтермодальні перевезення є оптимальною ланкою сполучення між різними видами транспорту для перевезення широкого спектра типів вантажів, які сьогодні пересуваються виключно по дорогах. У зв'язку з певним зниження попиту на перевезення класичних залізничних вантажних товарів і паралельною необхідністю зниження екологічного навантаження транспорту, роль інтермодальних перевезень стає пріоритетним завданням в умовах конкурентного середовища на транспортному ринку.

1.3 Аналіз технології взаємодії залізничного і морського транспорту при транспортуванні контейнерів

Щодо сумісної роботи портів і залізничних вузлів України виникають ряд питань пов'язаних з формуванням і відправленням контейнерних поїздів. На доставку вантажів як з боку залізничного транспорту, так і з боку морського транспорту впливає багато випадкових суб'єктивних факторів: часових, погодних, техногенних і ін [38].

Було проаналізовано інфраструктуру порту Одеса та прилеглої до нього залізничної станції Одеса-Порт. Виявлено, що порт складається з двох контейнерних терміналів «БКП» (Бруклін-Київ Порт) і «КТО» (Контейнерний Термінал Одеса), кожен з яких може приймати 1 -2 судна за добу одночасно в залежності від довжини і ємкості судна. Кожна контейнерна лінія, яка співпрацює з портами України один раз в неділю відправляє своє судно в порт

Одеса під вивантаження та навантаження. Контейнерних ліній налічується порядку 14, тому кожен день в порт прибувають вантажні судна. З судна вивантажуються контейнери з імпортом, які поступово вивозяться у сховище для контейнерів на території у порту та одночасно завантажуються контейнери з експортом. Далі клієнти (замовники) вивозять контейнери, які прибули, вивантажують і повертають назад у порт порожніми або при домовленості з контейнерною лінією завантаженими. В основному всі контейнери належать контейнерним лініям. Тільки 1-2 % - приватним власникам. У разі, якщо контейнер, який прибув завантажений тривалий час знаходиться у порту, його не забирають під вивантаження, простій оплачує клієнт (замовник). Контейнери, які повертаються порожніми і тривалий час знаходяться на території порту, простій оплачує контейнерна лінія або інший власник контейнера, за домовленістю з портом. Вивантаження та завантаження судна триває 1 добу, іноді 2.

На основі статистичних даних були розраховані інтенсивності потоків контейнерів з імпортом і експортом ($\lambda_{\text{имп}}, \lambda_{\text{експ}}$), порожніх контейнерів ($\lambda_{\text{пор}}$) за добу окремо по кожному терміналу. По терміналу «БКП» в середньому $\lambda_{\text{имп}}^{\text{бкп}} = 325 \text{ TEU/доб}$, $\lambda_{\text{експ}}^{\text{бкп}} = 265 \text{ TEU/доб}$, $\lambda_{\text{пор}}^{\text{бкп}} = 124 \text{ TEU/доб}$. По терміналу КТО $\lambda_{\text{имп}}^{\text{кто}} = 422 \text{ TEU/доб}$, $\lambda_{\text{експ}}^{\text{кто}} = 344 \text{ TEU/доб}$, $\lambda_{\text{пор}}^{\text{кто}} = 161 \text{ TEU/доб}$. Інтенсивність надходження суден у термінал порту БКП $\lambda_{\text{суд}}^{\text{бкп}} = 0,3 \text{ суд/доб}$; у термінал порту КТО $\lambda_{\text{суд}}^{\text{кто}} = 1,13 \text{ суд/доб}$.

Судна прибувають у порт за розкладом і відправляються теж незалежно від того вони завантажені повністю або частково. Після того як контейнери з імпортом перевантажили у сховище терміналу, рухомий склад подають на під'їзні колії для завантаження.

Укрзалізниця впровадила регулярні контейнерні поїзди, які курсують тричі на тиждень з Одеси в Харків, Дніпро, Київ і в зворотньому напрямку. До складу кожного контейнерного поїзда включаються вагони з універсальними

спеціалізованими контейнерами в завантаженому та порожньому стані, спеціалізовані платформи для перевезень великовагових контейнерів. Поїзд формується з двох груп – 20 вагонів призначенням на термінал «Бруклін» та 20 вагонів на термінал «КТО». Сформований поїзд відправляється зі станції відбору вагонів та прибуває на станцію Одеса-Порт заздалегідь з урахуванням часу, що передбачає виконання наступних операцій: навантаження, вивантаження оформлення перевізних документів. Максимальний час на обробку поїзда становить 10.5 годин, з них: 2.5 години - вантажні операції на терміналах, 6 годин час на проходження необхідних видів контролю, оформлення перевізних документів в середньому, 2 години на обробку поїзда станцією Одеса-Порт. Відправлення поїзда здійснюється згідно затвердженого графіка. Частота курсування таких поїздів 4-5 разів за місяць в кожне місто.

Проведеним аналізом було доведено, що судна, які приходять у порт Одеса розвантажуються і завантажуються не тільки контейнерними поїздами, а також і додатковими у зв'язку з необхідністю доставки товарів без затримок. Перевантаження контейнерів із судна на залізничні платформи та відправлення їх за призначенням в терміналах порту може зайняти від 7 до 10 діб.

Були досліджені технології обробки контейнерів на станції відправлення та припортовій станції. Під терміном станція відправлення виявлено, що час обробки контейнерів може сягати від 3-14 днів у першому і у другому випадках. На рисунках 1.14, 1.15 наведені усереднені показники, які можуть змінюватись. Час простою контейнерів на станції відправлення під всіма операціями досягає 130 годин тобто 5,5 діб., на припортовій станції 141 год., тобто 5.9 діб, які перевищують нормативні показники.

Як свідчить аналіз, значну частку часу обробки контейнерів займає накопичення контейнерів - 48 годин, у зв'язку з необхідністю відправки маршрутного контейнерного поїзда, який відправляється з даної станції один раз у неділю.

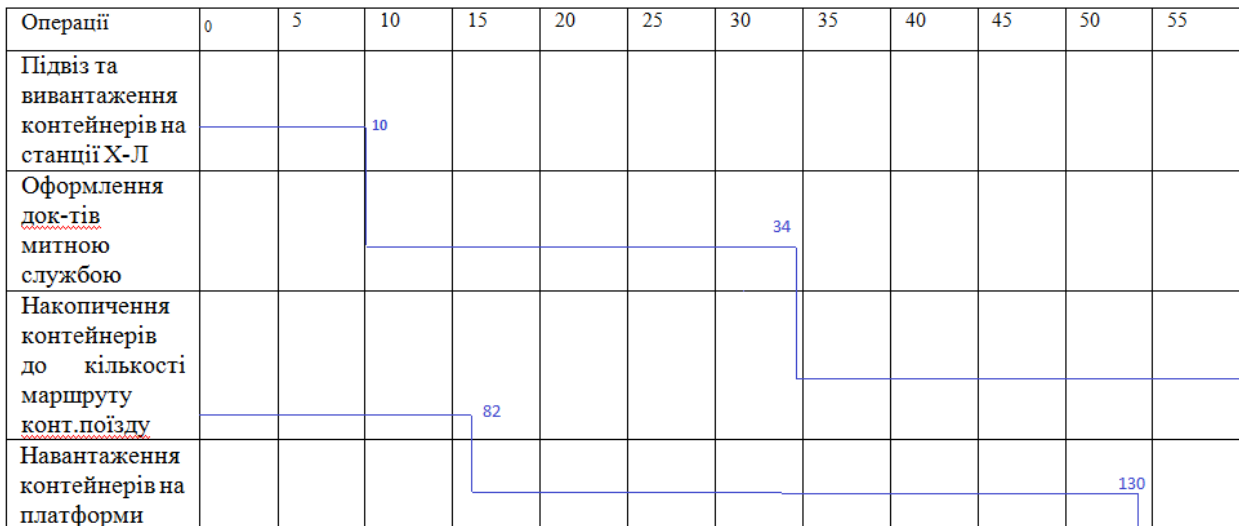


Рисунок 1.14 – Технологічний графік обробки контейнерів на станції відправлення, години

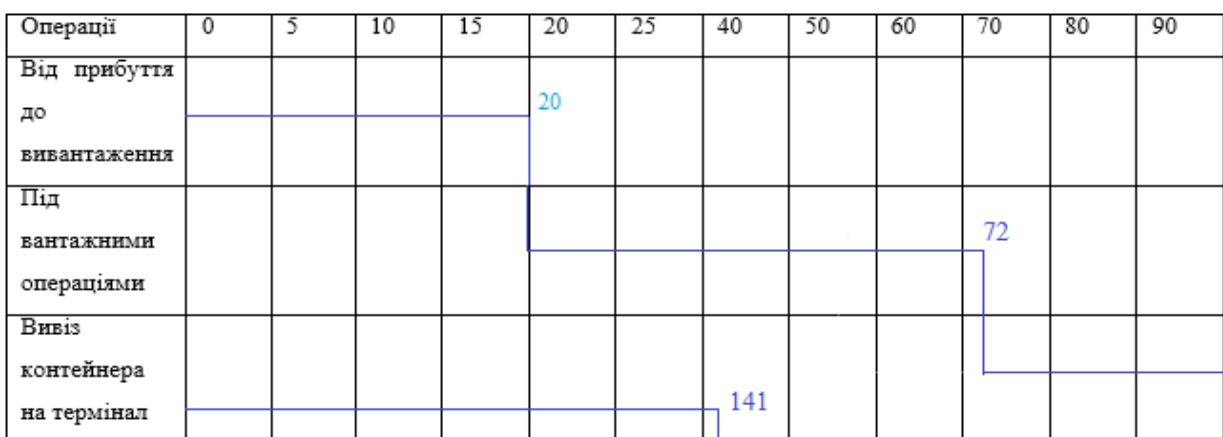


Рисунок 1.15– Технологічний графік обробки контейнерів на припортовій станції, години

Експериментальні дослідження показали, що час перебування контейнерів на станції відправлення носить стохастичний характер і підпорядковується нормальному закону розподілу, результат дослідження наведений на рисунку 1.16.

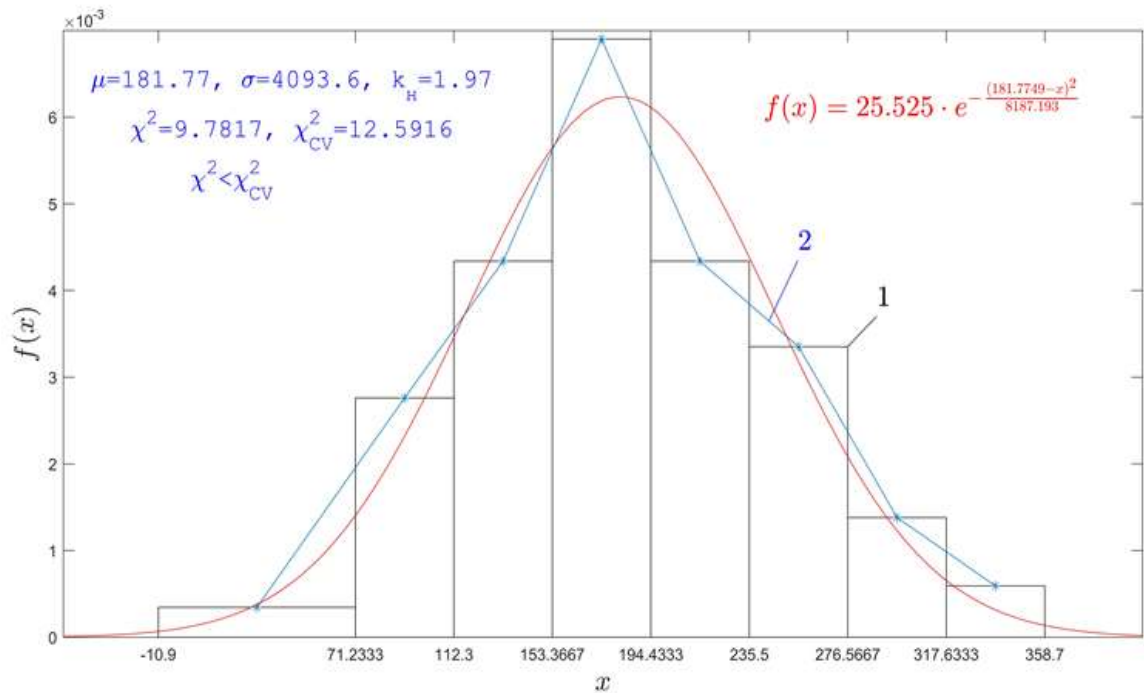


Рисунок 1.16 – Дослідження часу простою контейнерів на станції відправлення

Аналізуючи обробку контейнерів на припортовій станції, які прибули, виявлено, що їх простій збільшується за рахунок невчасної обробки поїздів у зв'язку з великими об'ємами надходжень поїздів на станцію у сезон перевезень зернових, нестачею локомотивів, недостатньою пропускнуою спроможністю станції. Простій контейнерів на станції може коливатись від 5-14 діб, а в деяких випадках і більше. Як показали дослідження, перебування контейнерів на станції призначення в середньому складає 171.19 год. і підпорядковується закону Ерланга 3-го порядку (рис.1.17).

Також було проаналізовано процес обробки контейнерів на інших станціях, де приймаються контейнери для перевезення у складі інших поїздів, який довів, що значні простой платформ з контейнерами відбуваються у зв'язку з нестачею локомотивів, технічних засобів для вивантаження – розвантаження контейнерів, переформування поїзда теж займає значний проміжок часу. Простой контейнерів на станціях відправлення по вищенаведеним причинам

сягають від 3-7 днів, що може призвести до запізнення контейнера на судно, збільшення витрат при перебуванні контейнера у порту в очікуванні наступного судна.

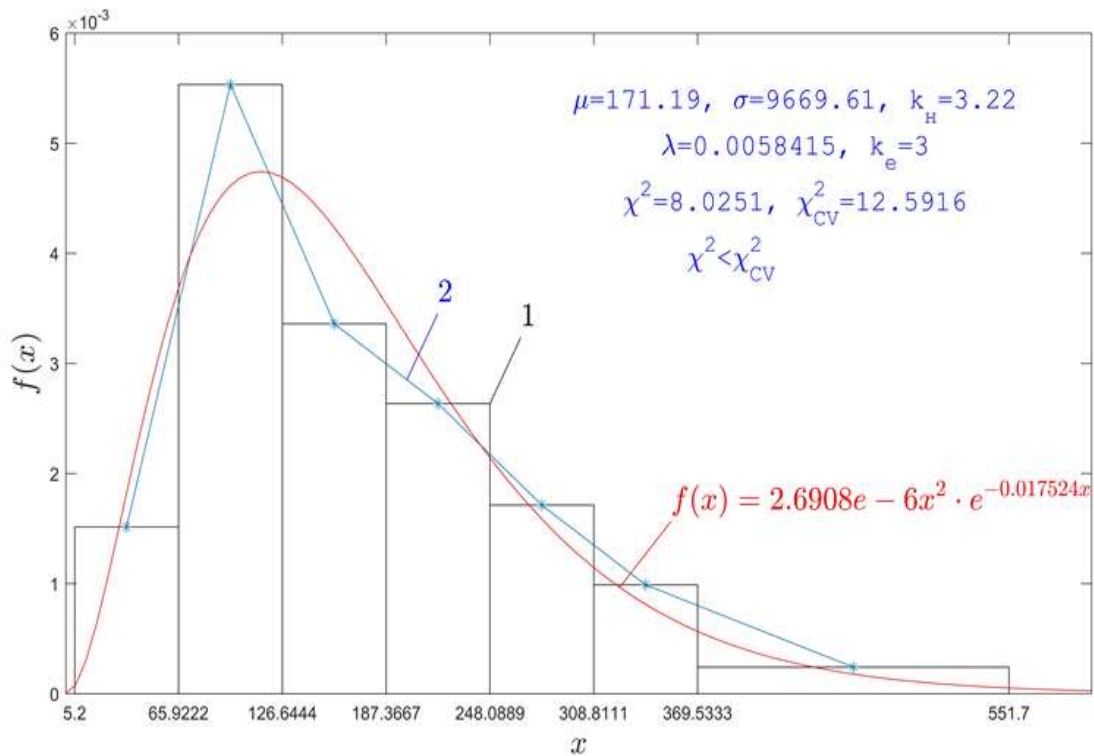


Рисунок 1.17 - Дослідження часу простою контейнерів на припортовій станції

Як показав аналіз, переміщення контейнерів залізничними шляхами України пов'язане із можливими невиробничими втратами часу та збільшенням експлуатаційних витрат для інтермодальних операторів внаслідок перепростоїв поїздів, що містять у своєму складі контейнеровози або платформи з контейнерами на сортувальних і припортових станціях. Останнім часом всі ці негативні явища лише підсилюються на фоні посилення таких тенденцій, як нестача тягового рухомого складу, нестача та незадовільний станом парку контейнерів та фітінгових платформ. Ускладнює ситуацію також і поступова деградація залізничної інфраструктури, в наслідок якої зменшується пропускна

спроможність ліній та переробних потужностей сортувальних станцій. Крім цього, до значного збільшення експлуатаційних витрат при здійсненні інтермодальних контейнерних перевезень призводить і несвоєчасне забезпечення суден контейнерами для завантаження в наслідок надвисокої вартості простою суден. Таким чином, процес організації сухопутної частини інтермодальних перевезень має значні резерви для його оптимізації, однак для цього необхідно розробити сучасну автоматизовану технологію управління. Дана технологія повинна забезпечити швидке просування контейнерних поїздів залізничними шляхами та оптимізацію технологічних витрат шляхом підвищення ефективності взаємодії залізничного та морського транспорту. Адже під час процесу транспортування контейнерів до порту, виникає ряд невизначеностей, починаючи з надходження контейнерних потоків від вантажоперевізників до термінальних пунктів, які за своєю природою є випадковими, закінчуючи просуванням та обробкою поїздів на шляху до порту. Першим кроком для формування такої технології є формалізація процесу просування контейнерів у залізничному сполученні у напрямку морських портів в умовах функціонування системи інтермодальних перевезень.

1.3 Аналіз стану наукових досліджень в області інтермодальних перевезень в Україні та за кордоном

Закордонний і вітчизняний досвід дає приклад розвитку наукових розробок в області інтермодальних перевезень. Питанням удосконалення технологій інтермодальних перевезень приділяла увагу значна кількість науковців та фахівців таких як: Н. М. Алексійчук, Є. С. Альошинский, Т. В. Бутько, М. І. Данько, Ю. М. Дьомін, А. Г. Кіріллова, А. М. Котенко, В. В. Кулешов, Д. В. Ломотько, В. І. Мацюк, В. К. Мироненко, Г. І. Музикіна, Є. В. Нагорний, С. М. Резер, П. С. Шилаєв, В. О. Шиш, Н. Ю. Шраменко, F. Russo, U. Sansone, Athanasios Ballis, John Golias, Irina Harris, Yingli Wang.

В роботі (39) Шапкина О. С. обґрунтовані технологічні рішення по вибору техніко-технологічних параметрів організації контрейлерних перевезень; побудована економіко-математична модель вибору раціональних параметрів системи контрейлерних перевезень, розроблений графік руху контрейлерного поїзду між Новоросійськом і Москвою.

В роботі (40) Р. В. Зінько побудовано графову модель контрейлерних перевезень. Прораховано оптимальні умови їх ефективності для міжнародних перевезень лісоматеріалів залежно від вхідних параметрів, таких як геометрія задачі та швидкість перевезення. Прокладений маршрут Львів-Медика-Вроцлав-Свецко-Донген та розрахована собівартість рекомендованого маршруту.

У доповіді (41) Гусейнова Р. Р. розглядається питання обґрунтування багатокритеріального підходу до оцінки станцій, які обслуговують контрейлерний термінал. Розроблений набір критеріїв, що характеризує техніко-технологічні параметри станції з контрейлерним терміналом.

Монографія [42] Сича Є. М. присвячена питанням визначення основних етапів і особливостей техніко-економічного розвитку контейнерно-контрейлерних перевезень на залізницях України в сучасних умовах, дослідження транспортно-експедиторської діяльності залізничного транспорту.

В роботі Мацюка В. І. [43] представлена математична модель, яка дозволяє на основі невеликої кількості вихідних даних, більшість яких є з транспортної статистики, за допомогою відомих теоретичних методів розрахувати основні характеристики вантажопотоку в транспортній системі, яка розглядається як система масового обслуговування.

Російською вченою Кириловою А. Г. у роботі [44] зроблений аналіз сучасного стану та перспектив розвитку ринку контейнерних і контрейлерних перевезень у змішаних автомобільно-залізничних сполученнях; аналіз діючих систем і новітніх методів прискореної перевантаження контейнерів та контрейлерів в транспортних вузлах; розробка економіко-математичних моделей і методів оптимізації роботи контейнерних і контрейлерних транспортної системи; виявлення ефективних методів управління автотранспортним

експедиторським підприємством і специфіка їх застосування у сфері контейнерних і контрейлерних перевезень. У роботі Бутько Т.В. [45] запропоноване створення логістичного центру «сухий порт» з метою мінімізації будівництва складів у виробників продукції і доставка вантажопотоків у вигляді повагонних або контейнерних відправлень за участю підприємств промислового залізничного транспорту (ППЗТ).

В дисертаційній роботі [46] Шиляєва П. С. розроблено та формалізовано ресурсозберігаючу технологію виконання вантажних операцій з напівпричепами, причепами, вантажними модулями на терміналах вантажних станцій, яка, на відмінність від існуючих, забезпечує навантаження залізничного рухомого складу колії 1435мм(країни Європи) або 1520мм (країни СНД і Балтії) горизонтальним способом, що дає можливість суттєво зменшити тривалість простою вантажних модулів та вагонів під вантажними операціями і зменшити їх оборот.

Кізіміров М. В. в своїй статі [47] зробив економічні розрахунки ефективності застосування зчленованих платформ на трьох візках і платформи 13-9032. При тій же корисній довжині складу із зчленованими двосекційними вагонами може перевезти на 12 трейлерів більше. За рік маса вантажу, перевезеного таким складом буде на 117,504 т, а вантажообіг на 257568768т-км більше, ніж поїздом. Який складається з односекційних спеціалізованих платформ при однаковій розрахунковій довжині поїзда.

Логвинюк К., Поплавський Т., Шпаков А. в роботі [48] провели аналіз динаміки змін інтермодальних перевезень в Європі. Визначили критерії для підвищення пріоритету інтермодальних перевезень в Центральній і Східній Європі. Навели процентну складову національного, міжнародного транспорту і транзиту в країнах Центральної і Східної Європи в порівнянні з країнами Західної Європи в 2010 році. Результати свідчать про те, що країни Західної Європи оптимально використовують добре розвинену внутрішню залізничну інфраструктуру. Країни Центральної та Східної Європи велику частину своїх доходів отримують від міжнародних (транзитних) інтермодальних перевезень.

В роботі Є. К. Вільковського, С. М. Бурніцького, О. Й. Дзелендзяка [49] розроблено та проаналізовано задачу розрахунку тривалості перетину кордону для контрейлерних перевезень. Показано, що існує граничне співвідношення швидкостей руху залізницею та автострадою, для якого бімодальний тип перевезень є вигіднішим, ніж унімодальний (тільки автопоїздом) задовільного розташування станцій завантаження-розвантаження автопоїзда на залізничну платформу.

Кузнєцов М. М. в своїй роботі [50] зазначив, що позитивних чинників від реалізації програми розвитку комбінованих перевезень в Україні можна досягти лише шляхом поетапного удосконалення системи державного регулювання у цій сфері, введенні відповідно до міжнародної практики заходів державного стимулювання їх розвитку та розробленні системи координації вантажопотоків у міжнародних перевезеннях між різними видами транспорту за допомогою єдиного центру .

В дисертаційному дослідженні Снігур О. В. [51] визначена величина відверненого економічного збитку повітряному середовищі при впровадженні контрейлерних перевезень; обрані основні показники (параметри), що характеризують контрейлерні перевезення і роблять істотний вплив на величину оптимального складу поїзда.

В статті Шраменко Н. Ю. Рокало Л. В. [52] запропоновано математичну формалізацію процесу перевалки вантажів на припортовому терміналі при доставці в змішаному сполученні, де враховано технологічні особливості перевалки та обмеження.

В дисертаційному дослідженні Алексійчук Н. М. [53] обґрунтовані технологічні та організаційні заходи щодо удосконалення технологічного забезпечення контейнеропотоків; розроблені математичні моделі процесів технологічного забезпечення контейнерних перевезень з використанням резервів провізних спроможностей залізничного транспорту.

Музикіна Г. І. у своїй дисертації [54] визначає параметри транспортного коридору за принципом спеціалізованих контрейлерних поїздів; пропонує

поступове введення режиму комбінованих перевезень у транспортних коридорах України відповідно до їхніх параметрів.

Миронюк І. В. [55] відмітив, що розвиток інтермодальних перевезень в Україні є предметом значної кількості досліджень. Основною метою цих робіт є аналіз проблеми техніко-експлуатаційного стану транспортних засобів українських залізниць.

Ізоніна М. О. в своїй роботі [56] детально описує причини, що стримують розвиток в Україні контрейлерних перевезень, а також порядок розрахунку оптимальної структури складу комбінованих контрейлерно-контейнерних поїздів.

Альошинський Є. С. в своїй роботі [57] пропонує удосконалити систему міжнародних транспортних перевезень України, за рахунок розробки моделі блоку виконання митних операцій на ПВС та з виявленням основних причин затримок контейнерів і транспортних засобів в морському порту та на станції.

Яновський П. О. [41] зазначає що, для забезпечення своєчасного, повного та якісного задоволення населення і економіки в перевезеннях з адаптацією залізничного транспорту України до умов функціонування Транс-Європейської залізничної мережі з поступовою інтеграцією з нею у державній політиці в першу чергу зусилля залізниць слід зосередити на вирішенні наступного: забезпечити подальший розвиток комбінованих перевезень; забезпечити постійне зростання обсягів транзитних перевезень вантажів шляхом зменшення часу знаходження їх в дорозі, простоїв у пунктах перетину кордонів, уніфікацій документів на перевезення та спрощення процедури перетину державного кордону, а також залучення вантажопотоків у сполученні Європа-Азія.

Котенко А. М., Шилаєв П. С., Світлична А. В. в своїй роботі [5] пропонують вирішити питання різної ширини колії в Україні і Європі двома шляхами. Перший – побудова залізниць з Європейською шириною колії, на що потрібні значні кошти. Другий – розвиток комбінованих перевезень, що найбільш доцільний в даних умовах існування залізниць України. Це дозволить збільшити обсяги перевезень вантажів та зменшити вартість перевезень.

Переста Г. І., Кузьменко А. І. в статті [59] свідчать про те, що подальший розвиток перспективних видів перевезень неможливий без розв'язання проблеми забезпечення високих швидкостей доставки вантажів. Значним стримувальним чинником виступають прикордонні перевантажувальні станції, на яких тривалий час простоюють вагони з вантажами міжнародного сполучення. На основі досліджень автори виділяють питання про вдосконалення технології обслуговування транспортних засобів на залізничних пунктах переходу. Вирішення цього питання дозволить скоротити перебування на українських залізницях вагонів іноземних держав, поліпшити показники використання рухомого складу, прискорити доставку вантажів, знизити собівартість перевезення, що підвищить конкурентоспроможність залізниці на ринку транспортних послуг.

Дьомін Ю. В. в своїй роботі [60] зазначає, що до об'єктивних факторів, які повинні сприяти прискореному розвитку комбінованого транспорту України є створення спеціалізованих вагонів нового покоління з характеристиками, які забезпечували б прискорену доставку вантажів. Перш за все потрібно підвищити ефективність використання існуючого парку контрейлерних платформ і розширити маршрути поїздів комбінованого транспорту. Також важливим фактором є модернізація існуючого рухомого складу з метою забезпечення швидкісних комбінованих перевезень. Необхідно створення нових для залізниць колії 1520 мм вагонів, призначених для перевезення напівпричепів окремо від тягачів.

В роботі Мануєвої М. В. [61] запропонована конструкція вагона-платформи для перевезення автопоїздів і великотоннажних 40- і 20- футових контейнерів. В якості основних критеріїв при виборі раціональних параметрів вагона-платформи прийняті: чотирьохвісне виконання з навантаженням від колісної пари на рейки 23,5 т-вісь, вантажопідйомність 72 т, несуча здатність і технологічність конструкції.

Італійський вчені F. Russo & U. Sansone в своїй роботі [62] вивчають роботу інтермодального терміналу, а саме статистичне вивчення деяких змінних

циклу інтермодального терміналу при автомобільно-залізничних перевезеннях. Змінна, що розглядається є загальним середнім часом циклу терміналу, по відношенню до вантажного транспортного засобу, і кількості транспортних засобів, що входять в термінал. Вивчення змінних проводилися на терміналі Верони, Quadrante Europa.

А. А. Краснощек перший віце-президент ОАО «РЖД» зазначає [63], що важливою задачею є вдосконалення комерційної роботи. Необхідно продовжити розвиток системи логістичних центрів, а також через достовірність комерційних планів необхідно забезпечити високу якість виробничих програм з урахуванням потреб клієнтів і раціонального використання інфраструктури. В 2015 році був розроблений програмний продукт АС «Модель», який дозволяє визначити оптимальну структуру вагонопотоків з точки зору мінімізації витрат.

Грецькі вчені Athanasios Ballis, John Golias Towards в своїй роботі [64] пропонують ряд моделей для дослідження відібраних технологій обробки та інноваційний передових операційних форм, які могли б привести до підвищення ефективності роботи комбінованих терміналів і всього транспортного ланцюга. Набір інструментів моделювання складається з мікромоделі (експертної системи, підтримуваної модулем моделювання) для порівняльної оцінки альтернативних конструкцій терміналу і, нарешті, макро-моделі для дослідження транспортного ланцюга. До того ж була розроблена і використана аналітична модель для перед- і пост-аналізу підсистеми перевезень. Аналіз традиційних і передових конфігурацій терміналів, які виконують мікромоделі показав, що кожна конструкція ефективна для певного діапазону обсягу вантажу і обмежена пропускнуою спроможністю. Ці обмеження в основному пов'язані з обмеженням пропускнуої спроможності перевантажувальних колій підсистеми, а не відповідністю вантажно-розвантажувального обладнання.

В дисертаційній роботі російський вчений Кузьмін Д. В. [65] на основі теоретичної бази, математичних інструментів і програмно-імітаційного моделювання запропонував нові науково обґрунтовані рішення по організації

контрейлерних перевезень в частині вибору контрейлерних систем і формування регіональних мереж контрейлерних терміналів.

Закордонні вчені А. Kalašová, J. Kapusta, P. Toman в статті [66] розробили математичну модель «Трансатлантична мультимодель проблеми контейнерної маршрутизації», яка надає інструмент для оптимізації мережі транспортної мережі. Розроблена модель дозволяє користувачам визначати оптимальну спільну маршрутизацію в мережевій системі, яка забезпечує мінімізацію витрат для компанії, яка відправляє один товар з декількох джерел в кілька пунктів призначення. Модель складається з мережі морських ліній між портами, а потім мережі автомобільних і залізничних перевезень по обидва боки Атлантичного океану. Алгоритм розгалуження і розрізу, який використовується програмним забезпеченням GAMS для моделювання, забезпечує рішення моделі. Також представлений короткий аналіз тенденцій і статистики автомобільних і залізничних перевезень в якості доповнення до морських перевезень на обох континентах.

В роботі V. Boschian, M. Dotoli, M. Pia Fanti, Go Iacobellis, W. Ukovich [67] представляють підхід «метамодельювання» для імітації структури і поведінки інтермодальних транспортних мереж (ІКТ). Прикладами для «метамодельювання» були взяті порт Триєста (Італія) і термінал Гориція (Італія). Запропонований підхід створює еталонну модель, яка моделює еволюцію ІКТ. Це може бути використано в управлінні базою даних, необхідною для оцінки ефективності та прийняті рішень.

А. Ballis, J. Golias [68] в статті пропонують набір моделей для досліджень, спрямованих на більш ефективну роботу з комбінованими терміналами і всім транспортним ланцюжком. Набір інструментів для моделювання складається з мікромоделі (експертна система, допоміжне модульне моделювання) для порівняльної оцінки альтернативних конструкцій терміналів і, нарешті, макромоделі для досліджень транспортного ланцюжка.

Н. Pouryousef, P. Lautala, T. White [69] в своїй роботі зробили огляд понад 50 досліджень пропускну здатності залізниць. Вказали на відмінності між

залізничними станціями Європи і США. Відмітили, що методи визначення ємності зазвичай діляться на аналітичні і імітаційні методи, але в цій статті також вводиться третя категорія «комбіноване моделювання - аналітичне».

В роботі [70] автори описують інтелектуальну платформу на основі комунікаційної підтримки для мультимодального транспорту. Система МАММОЕ розроблена як система підтримки прийняття рішень в режимі реального часу, в якій інтелектуальні програмні агенти обробляють комунікативні завдання, здійснюється обмін бажаною кількістю інформації між різними користувачами, за допомогою загального обміну протоколами, які діють як транслятори між різними системами.

В роботі німецького вченого Stefan Bock [71] пропонується новий орієнтований на реальний час підхід управління, з метою консолідації навантаження, зменшення порожнього пробігу транспортних засобів і обробки порушень. Цей підхід інтегрує мультимодальні перевезення і багаторазові завантаження. Це дає можливість гнучкому формуванню та адаптації транспортних процесів. Для того щоб обробляти виникаючі порушення застосовується процедура оптимізації, яка адаптує процес транспортування. Також система має можливі сценарії порушень, пов'язані з поломками транспортних засобів чи уповільнення їх через затори. Ефективність цього методу підтверджується обчислювальними експериментами.

В статті закордонних вчених L. Tavasszy, M. Minderhoud, J. Perrin, T. Notteboom [72] представлена стратегічна модель, яка прогнозує щорічні контейнерні потоки по всьому світу. Модель включає в себе імпорт, експорт і перевалку потоків контейнерів в портах, а також внутрішні потоки. Модель була відкалібрована за даними із спостережень і здатна відтворювати статистичні дані пропускної здатності порту.

Yang, X. J., Low, J., Tang, L. C. в своїй статті [73] вирішують задачу вибору кращого із 36 маршрутів інтермодальних перевезень, які беруть начало на материковій частині Китаю і пролягають через Індійський Океан, на основі методів цільового програмування.

У роботі [74] закордонних вчених Bortas, I., Brnjac, N., Dundović, Š. запропонована модель на основі використання нечіткої логіки, яка дозволяє оцінити ефективність існуючих маршрутів інтермодальних перевезень. Однак дана модель є корисною лише для прийняття стратегічних рішень по зміні маршрутів.

У статті [75] авторів Zhao, Y., Liu, R., Zhang, X., Whiteing, A. запропонована модель цілочисельного програмування для визначення кращого залізничного маршруту доставки контейнерів до порту. Модель оперує із часами доставки як із імовірнісними змінними, але вона не враховує випадкову природу первинних потоків контейнерів.

У роботі [76] автор Wronka J. Оцінює можливість відкриття нових маршрутів інтермодальних контейнерних перевезень між Європою та Азією. Oudani, M., El Hilali Alaoui, A., Boukachour J. вирішують в своїй роботі [77] задачу ефективного розташування інтермодальних контейнерних терміналів із залученням математичного апарату генетичних алгоритмів.

Kreutzberger, E., Konings, R. у [78] пропонують вирішення задачі географічного розташування контейнерних хабів для підвищення ефективності взаємодії залізничного і морського транспорту в європейській системі інтермодальних перевезень.

Xie, Y.; Song, D.P. у [79] наводять моделі для вироблення стратегій по додатковій підготовці потоків контейнерів з метою оптимізації складного процесу завантаження суден.

У роботі Chang, Zhu [80] запропонована модель, яка в оперативному режимі дозволяє управляти процесом розміщення контейнерів у порту. Дана модель дозволяє оптимізувати процес перевантаження контейнерів за рахунок урахування прогнозованої інформації про прибуття поїздів та суден, кількість вільних місць у них.

1.4 Висновки до розділу 1

Аналіз статистичних даних виявив тенденцію спаду вантажних перевезень не тільки територією України, а й країнами Європи. У порівнянні обсягів вантажних перевезень за період з 2013 по 2018 рік в Україні спостерігається тенденція їх зменшення на 10.56 %. Зокрема залізничний транспорт знизив свої показники на 4%. Обсяг залізничних вантажних перевезень в країнах Європи за період з 2016 по 2018 року впав на 4.7%. Інтермодальні перевезення за участю залізниць є єдиним ринковим сегментом загальних європейських залізничних вантажоперевезень, який показав приріст в обсягах +50 %. З метою підвищення конкурентоспроможності залізниць та збільшення обсягів вантажних перевезень доцільно сприяти розвитку інтермодальних контейнерних перевезень й територією України. Адже такий вид перевезень є оптимальною ланкою сполучення між різними видами транспорту для перевезення широкого спектру вантажів на великі відстані.

Детальний аналіз обсягів перевалки контейнерів показав значний приріст їх об'ємів у морських портах, а саме в Одеському. Починаючи з 2015 року, спостерігається тенденція збільшення об'ємів перевалки контейнерів у портах на 10-20 % за кожний рік. У зв'язку з цим Укрзалізниця впровадила курсування ще 8 регулярних контейнерних поїздів, кількість яких досягла 17. Але відомо, що транспортування контейнерів до порту відбувається не тільки у складі прямих контейнерних поїздів, але і у складі інших. Таким чином, виникає ряд невизначеностей, починаючи з надходження контейнерних потоків від вантажовідправників до термінальних пунктів, які за своєю природою є випадковими, закінчуючи просуванням та обробкою поїздів на шляху до порту. Статистичні дослідження на АТ «Укрзалізниця» довели, що часові показники обробки контейнера на станції відправлення підпорядковуються нормальному закону розподілення з такими параметрами: математичне очікування $\mu = 181.77 \text{ год}$, середньоквадратичне відхилення $\sigma = 63,98 \text{ год}$, дисперсія

$D = 4093 \text{ год}$, коефіцієнт нерівномірності $K_n = 1,97$. Значний час витрачається на накопичення контейнерів для відправлення їх маршрутним прямим поїздом (приблизно 2-3 доби), а також на переробку поїзда на сортувальних станціях при перевезенні контейнерів у складі інших поїздів. На припортових станціях виникає черга для вивантаження контейнерів на термінали у зв'язку з нестачею вантажно-розвантажувальної техніки, локомотивів, а простій в терміналах в порту викликає нераціональне бронювання місць на судні, коли судноплавні лінії заявляють про більшу кількість місць ніж може поміститись у судно. Як показали дослідження, часи перебування контейнерів на припортовій станції підпорядковується закону Ерланга і мають такі параметри: інтенсивність $\lambda = 0,005415$, коефіцієнт Ерланга $K_e = 3$. Отже, за рахунок непродуктивних простоїв, значно збільшується час просування контейнерів у складі інтермодальних перевезень.

Тема розвитку інтермодальних перевезень висвітлюється в багатьох роботах вчених та діячів в області транспорту. Основним напрямком дослідження в цій галузі є постановка і вирішення задач, пов'язаних із оптимізацією топології маршрутів інтермодальних перевезень на логістичних засадах. На основі проведеного аналізу закордонних і вітчизняних наукових робіт виявлено, що задачі транспортування контейнерів до порту залізничним транспортом у складі інтермодальних перевезень з урахуванням імовірнісної природи ключових складових цього процесу і з використанням системного підходу вирішено не в повній мірі.

Враховуючи всі випадковості, які трапляються в такому складному процесі виникає необхідність у формалізації процесів управління контейнерними перевезеннями з урахуванням випадкової природи їх появи та мінливості транспортного ринку, що в свою чергу призведе до можливості автоматизації цих процесів. Для вирішення цієї складної задачі першочергово слід провести роботу з прогнозування випадкових потоків і зокрема потоків контейнерів.

РОЗДІЛ 2

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ЗАЛІЗНИЧНИМИ КОНТЕЙНЕРНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В РАМКАХ СИСТЕМИ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

2.1 Передумови формалізації процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями та аналіз факторів, що впливають на вибір стратегії доставки контейнерів до порту

Управління інтермодальними перевезеннями – складний і відповідальний процес. При здійсненні міжнародних і міжконтинентальних контейнерних перевезень разом із морським транспортом традиційно використовується залізничний транспорт. Задача залізничного транспорту полягає у забезпеченні транспортування по так званих «сухопутних мостах» – сухопутних ділянках, на яких маршрут починається або закінчується, або через які він проходить транзитом. Як було зазначено вище, незважаючи на значний рівень комп'ютеризації і інформатизації, рівень затримок доставки вантажів у галузі контейнерних інтермодальних перевезень не зменшується. Незадовільна швидкість просування контейнерних поїздів є суттєвим фактором виникнення цих затримок. Дана проблема є загальною, а не лише постає перед інтермодальними операторами, що експлуатують Сибірський і Євразійський континентальні сухопутні мости, які проходять відповідно територією Росії та Казахстану і використовуються для доставки товарів із Японії, Південної Кореї і Тайваню до країн Східної Європи. Вона стосується також і Американського та Канадського сухопутних мостів, через які японські товари потрапляють до споживачів у США і Канаді та через порти Німеччини і Нідерландів до споживачів у Західній Європі. Така ситуація склалася внаслідок відсутності дієвих підходів до побудов систем управління, які б демонстрували високий рівень ефективності в умовах невизначеності, яка є природною складовою

перевізного процесу. У випадку залізничної доставки контейнерів до порту важливим також є питання узгодженості цього процесу із розкладом прибуття суден.

Таким чином, актуальною задачею є формування автоматизованої технології організації контейнерних залізничних перевезень, яка б забезпечила високий рівень надійності та конкурентоспроможності системам інтермодальних контейнерних перевезень за рахунок створення та використання системного ефекту при взаємодії підприємств залізничного і морського транспорту. Типову схему полігону, що відповідає сухопутній частині шляху, яку долають контейнери за допомогою залізничного транспорту в напрямку морського порту, наведено на рис.2.1.

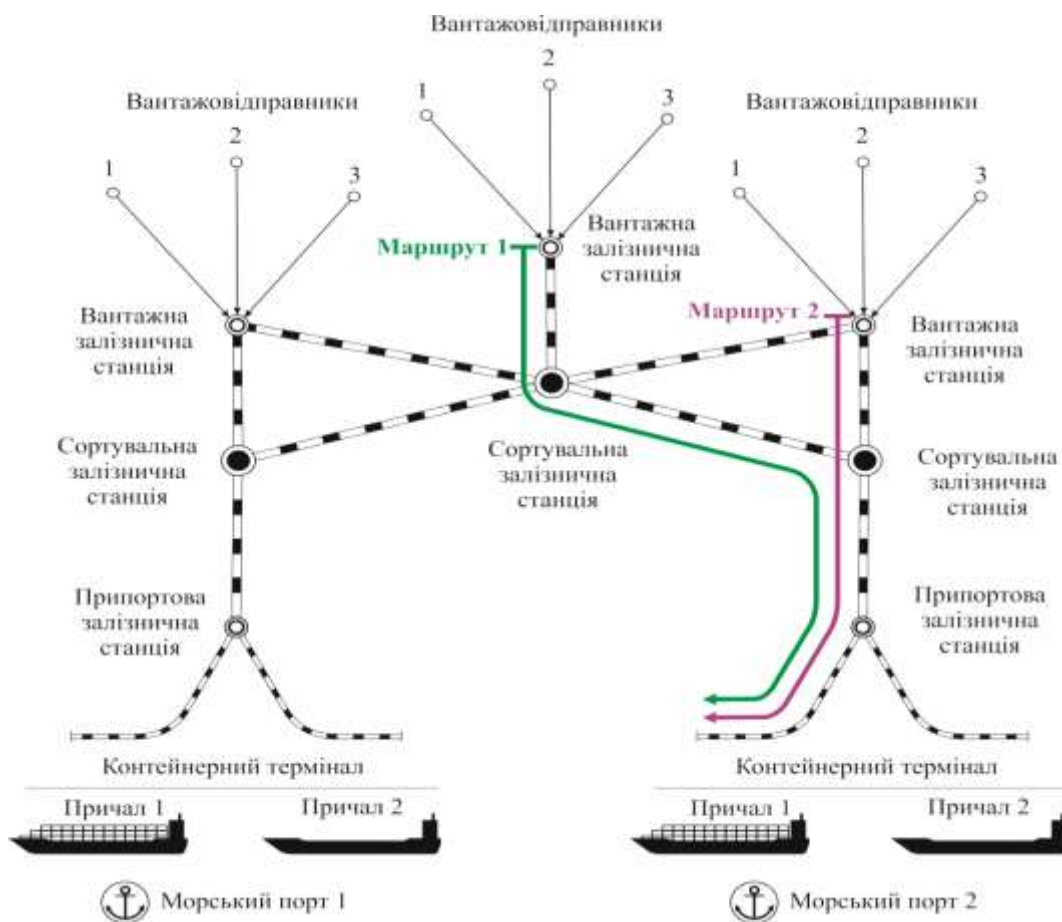


Рисунок 2.1 – Схема організації доставки контейнерів залізничним транспортом до морських портів при здійсненні інтермодальних перевезень

Зменшення собівартості переміщення контейнерів на всіх ділянках шляху є ключовим моментом системи інтермодальних перевезень, адже собівартість є їх основною конкурентною перевагою. Використання контейнерів попри зручність при оперуванні ними повинно забезпечувати зменшення використання людської праці, тривалості вантажних операцій, зменшення витрат на охорону та зменшення часу доставки вантажів. Час доставки вантажів для вантажовласників також має важливе економічне підґрунтя. Навіть незначне збільшення швидкості доставки вантажів у міжнародному сполученні для середніх та великих компаній має істотний економічний ефект. Суть даного ефекту полягає у прискоренні обігу оборотних коштів, адже у контейнерах перевозять вантажі, які переважно мають високу питому вартість .

Основним недоліком морської ділянки шляху є значний термін доставки, який пов'язаний із невеликою швидкістю переміщення вантажних суден, витратами часу на перевірку та оформлення документів у портах, можливою необхідністю заходу контейнеровозів до факультативних портів для здійснення вантажних операцій. Разом з тим, морські перевезення і так є найбільш дешевим видом транспорту, а їх подальша оптимізація є можливою як за рахунок організаційних заходів, як, наприклад, удосконалення систем управління процесами експлуатації суден, так і за рахунок впровадження нових технічних рішень, наприклад, підвищення економічності енергетичних установок суден тощо.

Іншою справою є переміщення контейнерів залізничними шляхами України, де організаційні чинники мають вирішальне значення. Застосування недосконалих технологій організації перевезень пов'язане із можливими значними невиробничими втратами часу та збільшенням експлуатаційних витрат для інтермодальних операторів внаслідок перепростоїв поїздів, що містять у своєму складі фітінгові платформи з контейнерами, на сортувальних і припортових станціях. Останнім часом всі ці негативні явища лише підсилюються на фоні посилення таких тенденцій, як нестача тягового рухомого складу, нестача та незадовільний стан парку контейнерів та

фітінгових платформ. Ускладнює ситуацію також і поступова деградація залізничної інфраструктури, в наслідок якої зменшується пропускна спроможність ліній та переробних потужностей сортувальних станцій. Крім цього, до значного збільшення експлуатаційних витрат при здійсненні інтермодальних контейнерних перевезень призводить і несвоєчасне забезпечення суден контейнерами для завантаження в наслідок надвисокої вартості простою суден. Таким чином, процес організації сухопутної частини інтермодальних перевезень має значні резерви для його оптимізації, однак для цього необхідно розробити сучасну автоматизовану технологію організації залізничних контейнерних перевезень, яка забезпечить належну швидкість доставки контейнерів залізничними шляхами до порту із урахуванням розкладу заходу суден із мінімальними витратами.

Для розроблення такої технології необхідно формалізувати в рамках єдиної моделі процеси накопичення контейнерів на термінальних станціях, формування і просування контейнерів у залізничному сполученні до морських портів в умовах функціонування системи інтермодальних перевезень.

Основна задача управління процесом формування та просування контейнерних поїздів залізничними шляхами для своєчасного перевантаження на морські судна полягає у виборі стратегії накопичення контейнерів на термінальних пунктах. Стратегія накопичення маршрутів, тобто повносоставних поїздів, що містять у своєму складі лише фітінгові платформи із контейнерами і прямують без переробок до припортової станції, на перший погляд здається найбільш раціональною. Відсутність переробок прямих поїздів на сортувальних станціях повинна призводити не лише до зменшення експлуатаційних витрат, але й забезпечувати мінімізацію часу на транспортування контейнерів від термінального пункту до припортової станції. Однак при детальному її вивченні виявляється, що вона також може призводити до значних втрат [11]. Накопичення маршруту з контейнерів може потребувати набагато більше часу, ніж було заплановано. Причиною цього може стати мінливість ринкової кон'юнктури або інші чинники. За таких умов

доставка партії контейнерів до порту може не відбутися вчасно, що в свою чергу може стати причиною перепростою судна під навантаженням. Інша стратегія, за якою навіть декілька контейнерів, які прибувають на термінальну станцію, відправляються у бік припортової станції у складі поїздів, що формуються на станції або проходять її транзитом, також може бути неефективною. За такою схемою час доставки контейнерів може значно збільшитись внаслідок проходження переробок на сортувальних станціях, що також може стати причиною додаткового простою судна у порту. Таким чином, раціональним підходом до організації сухопутної частини інтермодальних перевезень є формування змішаної стратегії, яка дозволить визначати найбільш вигідний варіант відправлення контейнерів у бік порту з урахуванням поточної та прогнозованої інформації.

Під точною інформацією можна розуміти попередні дані, які станція може отримувати від вантажовідправників. Однак достовірність навіть такої інформації ніколи не наближується до 100 %, адже можуть мати місце невірні розрахунки, непередбачувані затримки в наслідок виходу з ладу вантажного обладнання та з інших причин.

Таким чином, адекватна модель технологічного процесу, яка буде придатна для використання у якості основи для формування автоматизованої технології організації транспортування контейнерів залізничними шляхами в рамках системи інтермодальних перевезень, повинна враховувати його стохастичну складову.

2.2 Вибір математичного апарату для формалізації процесу прибуття контейнерів до термінальних станцій

Одразу слід зазначити, що класична теорія ймовірностей спрямована на моделювання імовірності настання одиничних подій або їх комбінацій. Моделювання випадкових процесів, що пов'язані із послідовностями подій у

часі, має безліч специфічних особливостей і є складним завданням, однак існують декілька засобів математичного апарату, які здаються такими, що можуть бути застосовані для його вирішення. Наприклад, апарат мереж Петрі був розроблений саме для моделювання дискретних випадкових процесів. Однак при більш детальному його вивченні можна виявити, що даний математичний апарат є своєрідною «річчю у собі», його практично неможливо застосувати у складі інших математичних моделей, які містять традиційні математичні конструкції. Існує також складність отримання деяких характеристик процесу, до того ж, всі отримані числові характеристики моделі Петрі носять виключно емпіричний характер. Однак побудувати необхідну модель використовуючи виключно мережі Петрі, також практично неможливо. Навіть у самих сучасних версій цього математичного апарату, такого як кольорові мережі Петрі, не існує деяких важливих механізмів моделювання таких процесів як, наприклад, процес накопичення елементів, якими в даному випадку є контейнери. Його можна змоделювати лише за допомогою введення у модель штучних конструкцій. Як стверджують автори, це обумовлене необхідністю збереження простоти семантики цього популярного математичного апарату.

Іншим кандидатом для вирішення задачі є математичний апарат теорії марковських процесів. Але при детальному його вивченні можна прийти до висновку, що він більше спрямований на теоретичні дослідження. Однак він також не є зручним апаратом для практичного застосування, адже практично неможливо обчислювати і використовувати величини таких показників як, наприклад, багатовимірні щільності та кореляції. Іншим математичним апаратом, який зберігає всю повноту і точність математичного описання випадкових процесів і в той же час спрямований на практичне застосування є математичний апарат теорії випадкових потоків. Його перевагами є можливість описання числових характеристик випадкових послідовностей подій, які відносяться не лише до класу марковських процесів, і які передбачають можливість одночасного настання одразу декількох подій та зміну імовірнісних

характеристик у часі. Таким чином, теорія випадкових потоків є найбільш адекватним математичним апаратом для представлення потоків прибуття контейнерів на термінальні залізничні станції.

2.3 Дослідження процесу накопичення контейнерів на термінальних залізничних станціях за допомогою математичного апарату випадкових потоків

Важливим критерієм якості управлінських рішень є ступінь їх обґрунтованості. В той же час в реальному світі існує невелика кількість процесів, які можуть за певних умов вважатись детермінованими. Як було зазначено раніше, транспортні процеси набагато більше відчувають вплив випадкових факторів, у порівнянні із процесами у інших галузях виробництва. За таких умов вкрай важливим етапом розвитку автоматизованих систем управління є побудова моделей, які не лише реалізують типову логіку технологічного процесу, але й здатні обирати найкраще рішення із множини альтернатив на основі аналізу його поточних імовірнісних характеристик в реальному масштабі часу.

Ключовим моментом вирішення задачі організації транспортування контейнерів є визначення оптимального часу завершення накопичення контейнерної партії. Цей час повинен відповідати максимуму, або прийнятному значенню імовірності того, що вже накопичена партія контейнерів буде доставлена до порту вчасно і не відбудеться затримки судна. Таким чином, задача полягає в тому, щоб забезпечити доставку необхідної кількості контейнерів до порту максимально дешевим способом вчасно. Успішне вирішення даної задачі є можливим лише за умови, що рішення по терміналах, які пов'язані єдиним транспортним процесом, тобто терміналах, які відправляють контейнерні партії для завантаження одного й того ж судна, будуть прийматись з урахуванням системного ефекту у єдиному центрі прийняття рішень.

Таким чином, для можливості прийняття обґрунтованих рішень щодо визначення часів завершення накопичення контейнерних партій та вибору способів їх доставки до порту необхідно вирішити не лише задачу прогнозування процесу надходження контейнерів до термінальних станцій, але й побудувати модель оцінки імовірності можливих варіантів реалізації цього процесу. Отже першочерговим завданням для побудови даної моделі є дослідження процесу надходження контейнерів до термінальних станцій.

На рисунку 2.2 представлений процес надходження контейнерів до однієї з термінальних станцій Китаю. Вісь абсцисс представляє часовий інтервал тривалістю в 1 добу, вісь ординат відображає розміри контейнерних партій, які прибувають на станцію. Як видно з рисунку 2.2 одночасно на станцію можуть прибувати один, два або три двадцятифутових контейнера.

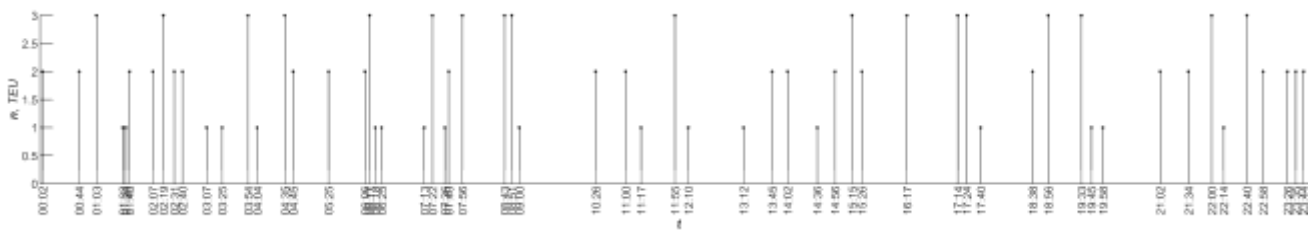


Рисунок 2.2– Процес надходження контейнерів до термінальної залізничної станції

Першочерговим завданням на шляху формалізації процесу управління транспортуванням контейнерів до морських портів при здійсненні інтермодальних перевезень є дослідження процесу надходження контейнерів до термінальних залізничних станцій.

Це дослідження доцільно розпочати з виявлення природи випадкового потоку. З метою вирішення цього завдання був проведений аналіз часового інтервалу між моментами надходження контейнерних партій до станції за методом гістограми [81]. За даними про часи прибуття контейнерних партій (рис. 2.2) часова вісь була поділена на інтервали. У відповідності до частот

потрапляння подій до кожного інтервалу була побудована гістограма (рис. 2.3), на основі якої була висунута гіпотеза про експоненційний закон розподілу часового інтервалу між моментами надходження контейнерних партій.

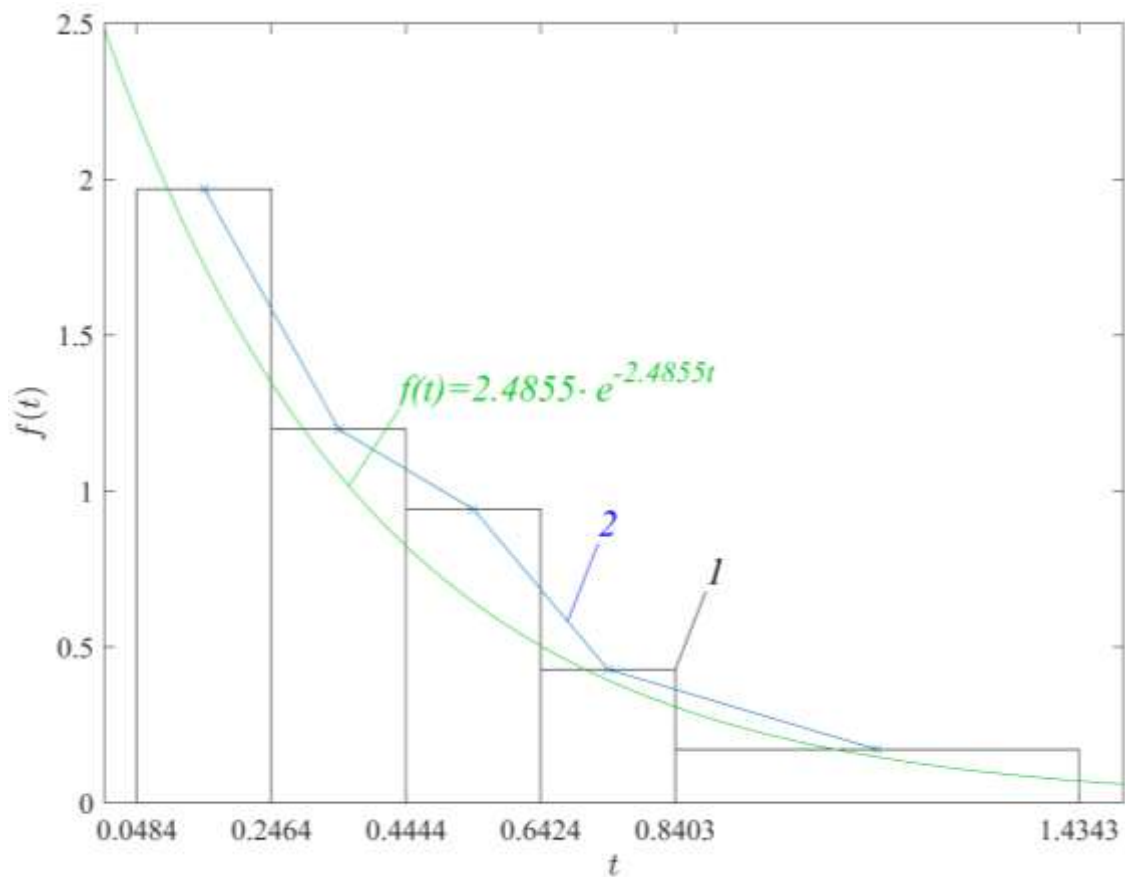


Рисунок 2.3– Гістограма (1), статистичний багатокутник (2) та крива функції щільності імовірності теоретичного закону розподілу (3) інтервалу між подіями потоку надходження контейнерних партій до термінальної залізничної станції

У таблиці 2.1 наведені результати розрахунків для побудови гістограми та теоретичної кривої функції щільності імовірності експоненційного закону розподілу.

Також в таблиці 2.1 наведені результати розрахунків, що були проведені в ході перевірки висунутої гіпотези. Перевірка була проведена із застосуванням статистичного критерію узгодженості χ^2 Пірсона [82]. Отримана в результаті

розрахунку величина 2,123 не перевищила критичного значення критерію 7,815, яке було розраховане відповідно до числа ступенів свободи $n=3$ та рівня статистичної значущості теста $\alpha=0,05$. Таким чином, за результатами перевірки гіпотеза про експоненційний закон розподілу часового інтервалу виявилася такою, що не була відхилена.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків в ході проведення статистичного дослідження за методом гістограми

№ інтервалу	ліва границя, год	права границя, год	емпіричні		теоретичні	
			частота	частість	частота	частість
1	0,0484	0,2464	23	20,3293	0,3898	0,4015
2	0,2464	0,4444	14	12,4285	0,2373	0,2454
3	0,4444	0,6424	11	7,5982	0,1864	0,1500
4	0,6424	0,8403	5	4,6452	0,0847	0,0917
5	0,8403	1,4343	6	5,6375	0,1017	0,1113
Σ			59	50,6387	1,0000	1,0000
$\chi^2 = 2,1230$		$\chi_{кр}^2 (\alpha = 0,05) = 7,815$		$\chi^2 < \chi_{кр}^2$		

Як довели дослідження, на різних часових інтервалах потоки прибуття мають незалежні паттерни часів прибуття контейнерів на станцію, отже їх можна вважати потоками без післядії, тобто пуассонівськими. Слід зазначити, що ці потоки також не є ординарним, адже контейнери можуть прибувати групами, тобто на один момент часу може припадати декілька подій потоку. Для моделювання таких потоків доцільно застосувати поняття пуассонівського потоку групованих точок або кратного поняття пуассонівського потоку. Одночасне ж надходження декількох контейнерів відображається однією точкою на часовій вісі і за такою термінологією представляє одну подію, але ця подія є кратною і величина кратності події є її додатковою ознакою. В такому разі постає питання формалізації процесу зміни кількості контейнерів, які надходять до термінальної станції. Такий процес має назву лічильного процесу

(англ. counting process). Лічильний процес – випадковий процес, що представляється лічильною функцією $N(t)$, яка є додатною, неубутною та цілочисельною [83]. Тоді лічильний процес можна вважати похідним процесом від випадкового процесу, яким він викликаний, або його іншою інтерпретацією. На рисунку 2.4 наведене графічне представлення потоку надходження контейнерів до термінальної залізничної станції, який представлений на рисунку 2.2. у вигляді лічильної функції.

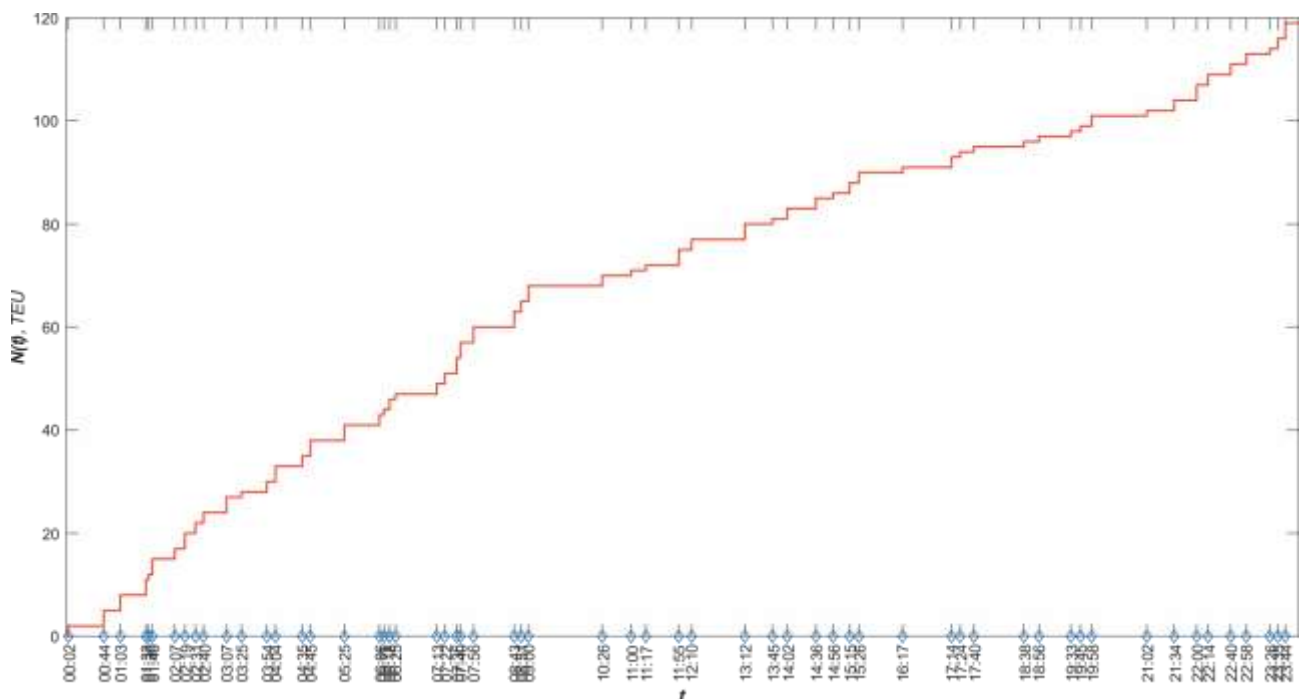


Рисунок 2.4– Лічильна функція процесу надходження контейнерів до термінальної залізничної станції

Як видно з таблиці, даний процес не є ординарним, адже в момент настання події потоку одночасно на станцію може прибувати різна кількість контейнерів (від одного до трьох). З точки зору теорії випадкових потоків, з метою спрощення процедури аналізу даного процесу, його доцільно розглядати як суперпозицію трьох потоків різної кратності. Розглянемо спочатку потік

кратності 1. З цієї метою необхідно тимчасово відкинути всі інші події основного потоку.

Слід зазначити, що найважливішою характеристикою потоку з точки зору теорії є характеристика, яка має назву інтенсивності. Інтенсивність потоку – це середня кількість подій що припадає на одиницю часу на певному часовому інтервалі. Теорія розділяє потоки на стаціонарні та нестаціонарні. Стаціонарним потоком є такий потік, основні характеристики якого, і в першу чергу інтенсивність, є незмінними у часі [84]. Дослідження даного потоку виявило той факт, що кількості подій що припадають на різні часові інтервали однакової тривалості не є сталою величиною. Зокрема кількості подій, що припадають на два сусідні чотирьох-часові інтервали значно відрізняються (рис. 2.5). Таким чином даний потік контейнерів відноситься до класу нестаціонарних потоків.

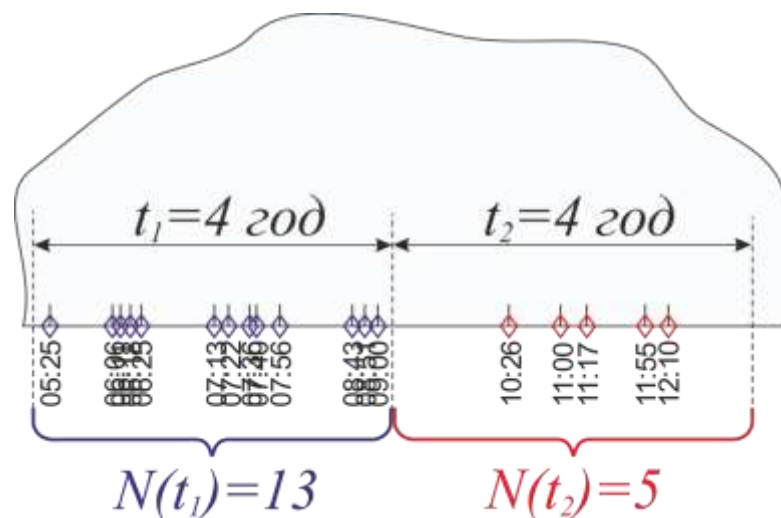


Рисунок 2.5 – Визначення факту нестаціонарності потоку контейнеру за допомогою підрахунку подій на часових інтервалах однакової тривалості

Як було зазначено вище, у західній науковій школі випадкові потоки розглядаються з точки зору більш загальної теорії, яка має назву теорії точкових процесів (англ. theory of point processes) [84]. Отже у термінології

даної теорії випадковий потік подій у часі називають часовим точковим процесом (англ. temporal point processes) [84]. Ординарні випадкові потоки, події яких відбуваються миттєво, тобто у визначені моменти часу, також називають впорядкованими точковими процесами (англ. orderly point processes).

Таким чином, в ході дослідження потоку надходження контейнерних партій до термінальної станції, який представлений на рис. 2.2, було доведено, що даний потік відноситься до класу неординарних нестационарних пуассонівських потоків.

Наступним етапом дослідження є аналіз основних характеристик потоку. Слід зазначити, що поняття інтенсивності є одним з найважливіших понять теорії випадкових потоків, однак воно концептуально відрізняється від поняття інтенсивності, як, наприклад, величини зворотної до середнього значення часового інтервалу між подіями, яке зазвичай використовують у транспортних дослідженнях. Складний математичний апарат теорії випадкових потоків як напрямку теорії точкових процесів був розроблений саме для дослідження нестационарних потоків. В цій теорії інтенсивність представлена функцією, яка має специфічну інтерпретацію. Функцію інтенсивності випадкового потоку визначають як функцію фільтрації історії випадкового часового точкового процесу на промені додатних дійсних чисел [84]

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(n[t, t + \Delta t] = 1 | H_t)}{\Delta t}, \quad (2.1)$$

де $P(n[t, t + \Delta t] = 1 | H_t)$ – імовірність настання однієї події на часовому інтервалі $[t, t + \Delta t]$, яка обумовлена історичним розвитком H_t випадкового процесу, що безпосередньо передуює моменту часу t ; Δt – тривалість часового інтервалу.

Існування цього ліміту було доведене теоремою Хінчіна [85,86]. Отже, з точки зору даної теорії, інтенсивність потоку є величиною, що безпосередньо пов'язана з імовірністю настання подій.

Ще одним важливим поняттям теорії є функція умовної інтенсивності. Визначення даної функції безпосередньо витікає із визначення функції інтенсивності, яке надане вище [84]

$$\lambda^*(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M(n[t, t + \Delta t] | H_t)}{\Delta t}, \quad (2.2)$$

де $M(n[t, t + \Delta t] | H_t)$ – математичне очікування кількості подій n на часовому інтервалі $[t, t + \Delta t]$, яка обумовлена історичним розвитком H_t випадкового процесу, що безпосередньо передує моменту часу t .

Безпосередній зв'язок функції умовної інтенсивності із функцією умовної щільності імовірності настання події потоку можна виразити наступним рівнянням [87]

$$\lambda^*(t) dt = \frac{f^*(t) dt}{S^*(t)}, \quad (2.3)$$

де $f^*(t)$ – функція умовної щільності імовірності; $S^*(t)$ – функція виживання (англ. hazard function), тобто функція, яка є комплементарною до кумулятивної функції розподілу імовірності.

Таким чином, дана функція є більш важливою за попередню і далі саме вона буде матися на увазі під терміном функції інтенсивності, враховуючи також, що для процесу Пуассона функції інтенсивності та умовної інтенсивності є ідентичними: $\lambda^*(t) = \lambda(t)$.

Також важливою функцією є кумулятивна функція інтенсивності, яка визначається наступним чином [88]

$$\Lambda(t) = \int \lambda(t) dt . \quad (2.4)$$

Дана функція використовується при здійсненні розрахунків імовірнісних характеристик випадкових потоків, з точки зору теорії точкових процесів вона відноситься до класу так званих функцій-компенсаторів [89].

Існують різні методи визначення функцій інтенсивності випадкових потоків. Зокрема існують методи, які потребують побудови спеціальних типів гістограм [90]. Недоліком методів, що використовують гістограми, є необхідність притягнення сторонніх методик апроксимації і згладжування для додаткової обробки даних з метою отримання функції інтенсивності у аналітичному вигляді. До того ж, точність таких методів залежить від багатьох факторів, зокрема й суб'єктивних. Для знаходження інтенсивності потоку як функції від часу на основі фактичних даних з максимально можливою точністю доцільно застосувати метод максимальної правдоподібності, загальна ідея та статистична ефективність якого були сформовані та доведені в роботах відомих вчених статистичної науки – Рональда Фішера та Семюела Вілкса [91,92]. Ідея метода полягає у оцінюванні невідомих параметрів явища без притягнення ззовні додаткових знань та інформації, а лише спираючись безпосередньо на дані самої вибірки, які використовуються у якості атрибутів для точкової валідації ступеня обумовленості гіпотези. Даний метод, фактично як і інші методи, спрямований на максимізацію імовірності співпадіння явища та його моделі, але він досягає результату без застосування громіздких статистичних досліджень, а лише за допомогою нескладних точкових оцінок та отриманих на їх основі інтуїтивно зрозумілих консеквентів. Для відшукування функції інтенсивності, яка максимально правдоподібно буде відповідати фактичній вибірці даних часів прибуття контейнерів на вантажну станцію, необхідно визначити функцію

правдоподібності. Однак для спрощення обчислювального процесу частіше використовують логарифмічну функцію правдоподібності [89, 93], яка має наступний вигляд

$$\ell(\lambda(t)) = -\int_0^T \lambda(t) dt + \sum_{i=1}^{n(T)} \ln \lambda(t_i), \quad (2.5)$$

де T – тривалість часового інтервалу, який відповідає точковому паттерну; $n(T)$ – кількість подій на інтервалі T ; t_i – момент часу настання i -ої події потоку на інтервалі T .

Тоді функція інтенсивності може бути представлена як результат максимізації її функції логарифмічної правдоподібності до точкового паттерна на часовій осі, який представляє дані про надходження контейнерних партій до термінальної станції

$$\lambda(t) = \arg \max \left(-\int_0^T \lambda(t) dt + \sum_{i=1}^{n(T)} \ln \lambda(t_i) \right). \quad (2.6)$$

Для спрощення аналізу неординарних потоків існує можливість їх представлення у вигляді суперпозиції потоків, множини події яких відрізняються за ознакою кратності. Така можливість існує зокрема завдяки тому, що теорема Хінчина була доведена також і для суперпозиції потоків [85, 89].

Для забезпечення високої точності відповідності до даних, пошук функцій інтенсивності проводився згідно до формули 2.4 у вигляді поліномів високих ступенів. На рисунках 2.6–2.8 представлені отримані в результаті оптимізації за методом максимальної правдоподібності функції інтенсивностей

потоків кратностей від 1 до 3 відповідно, що відповідають потоку надходження контейнерних партій до термінальної станції, який представлений на рис. 2.2. На рисунку 2.9 представлена отримана функція інтенсивності сумарного потоку.

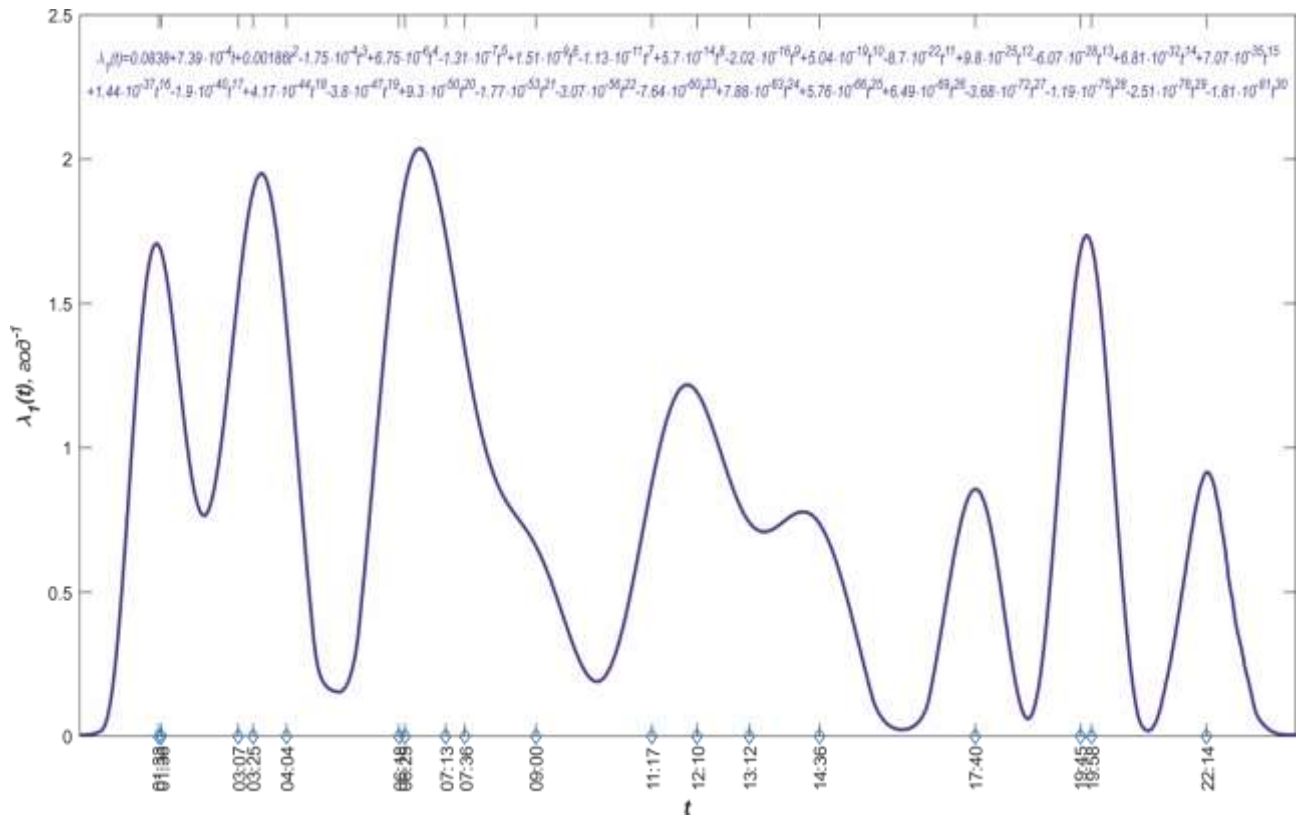


Рисунок 2.6 – Функція інтенсивності потоку кратності 1 надходження контейнерних партій до термінальної станції, отримана в результаті оптимізації за методом максимальної правдоподібності

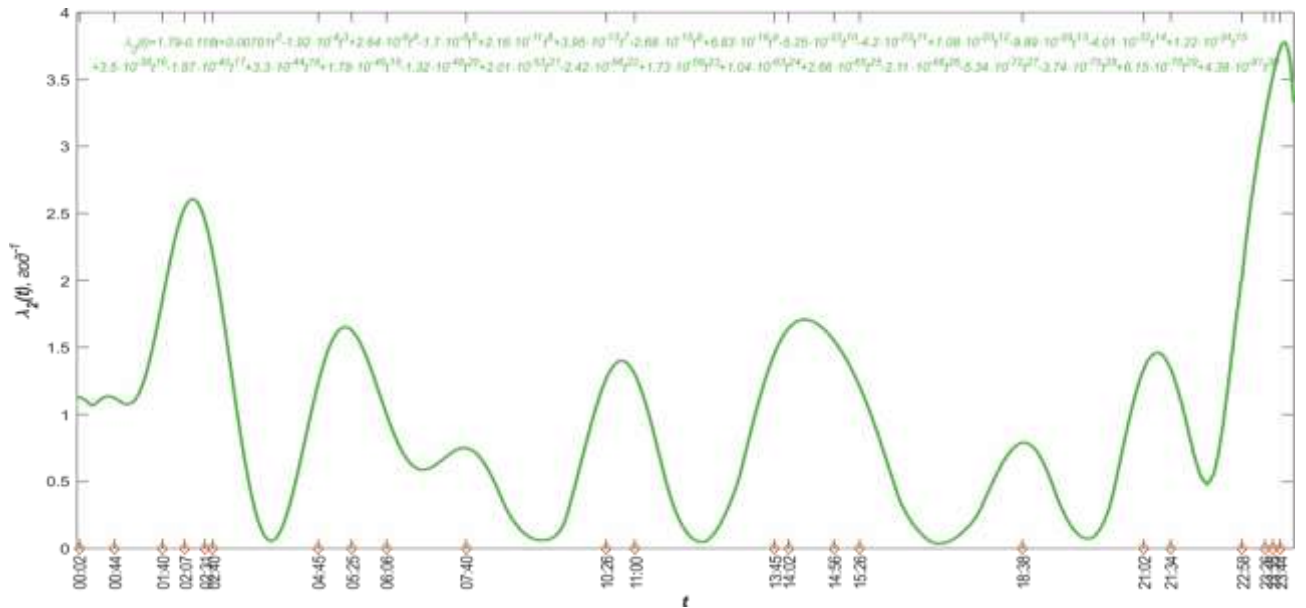


Рисунок 2.7 – Функція інтенсивності потоку кратності 2 надходження контейнерних партій до термінальної станції, отримана в результаті оптимізації за методом максимальної правдоподібності

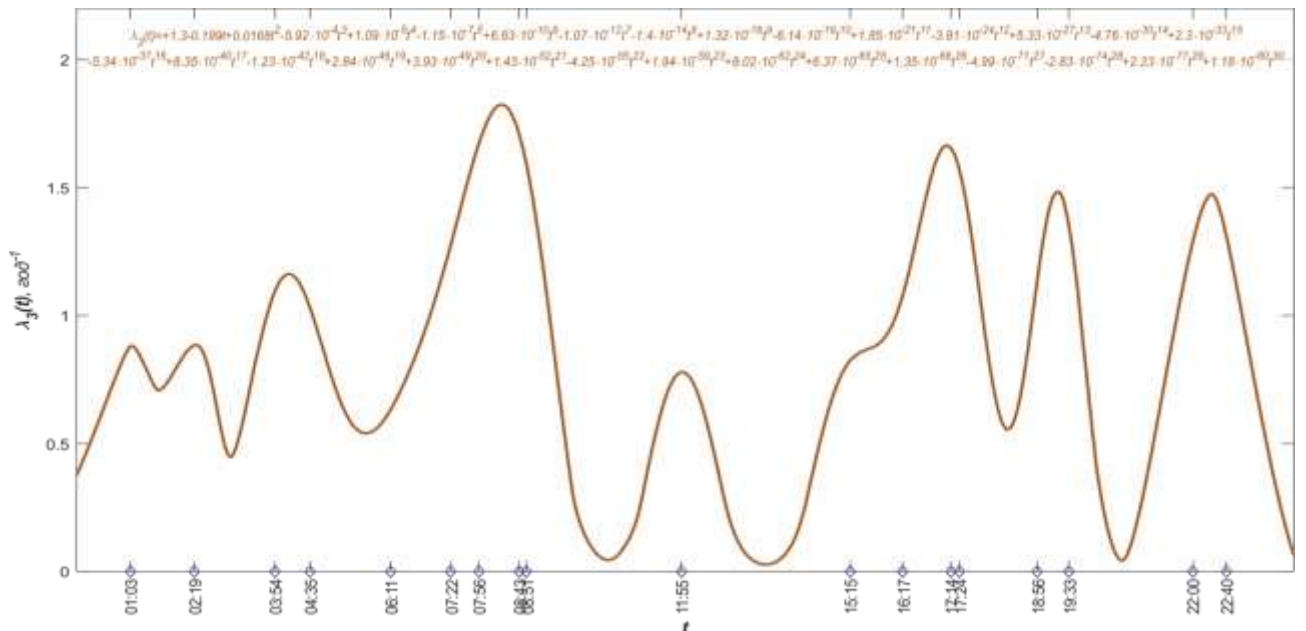


Рисунок 2.8 – Функція інтенсивності потоку кратності 3 надходження контейнерних партій до термінальної станції, отримана в результаті оптимізації за методом максимальної правдоподібності

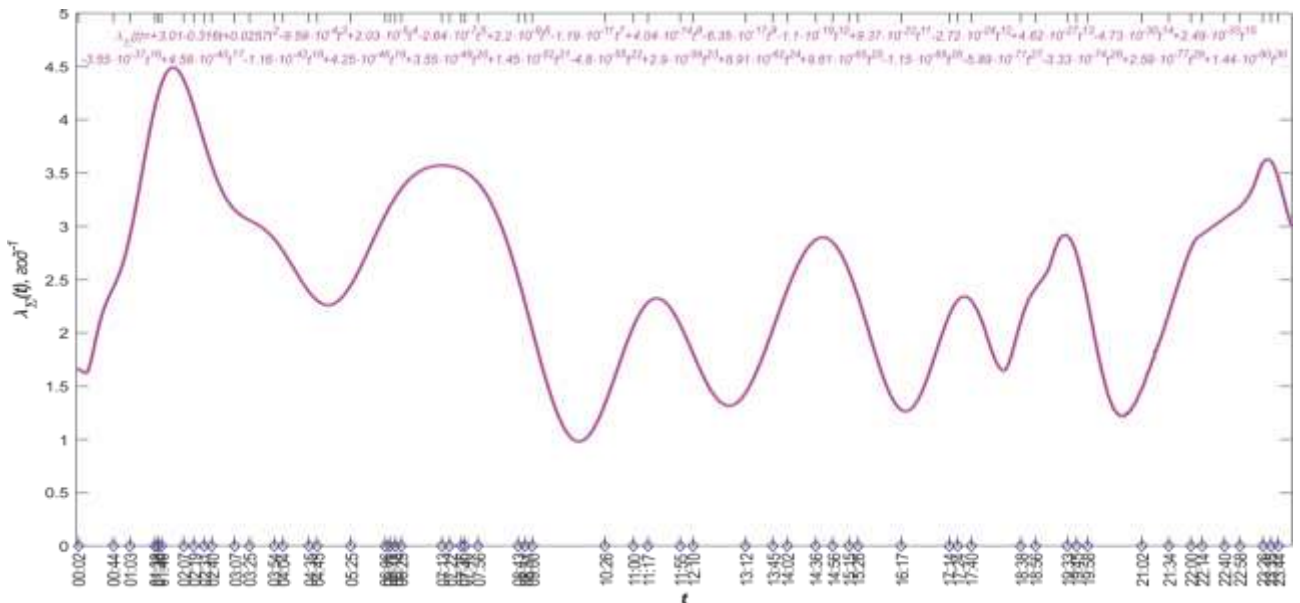


Рисунок 2.9 – Функція інтенсивності сумарного потоку надходження контейнерних партій до термінальної станції, отримана в результаті оптимізації за методом максимальної правдоподібності

2.4 Формування моделей оцінювання імовірнісних характеристик контейнеропотоків на термінальних залізничних станціях

Якість планування процесу транспортування контейнерів залізницею від термінальних станцій до порту в рамках функціонування системи інтермодальних перевезень зокрема залежить від точності визначення необхідних обсягів контейнерних партій та прогнозування відповідних моментів часу їх накопичення на станціях. Отже в процесі побудови такого плану виникає необхідність здійснення оцінок імовірностей накопичення певних кількостей контейнерів до певних моментів часу. Таким чином, важливим є аналіз випадкового потоку надходження контейнерів як лічильного процесу.

Найбільш важливою величиною, що характеризує даний потік у контексті вирішення поставленої задачі, є функція імовірності настання щонайменше k подій на часовому інтервалі, яку, враховуючи інформацію про генеруючі функції імовірності і кратності [88, 94] для потоків даного типу, можна записати наступним чином

$$P(k, [t_0, \tau]) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{i=1}^{x(s,k)} \prod_{j=1, \Sigma j q_{ij} < k, q_{ij} \in \mathbb{N}}^s \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_j(t) dt\right)^{q_{ij}}}{q_{ij}!}, \quad (2.7)$$

де k – кількість контейнерів, які прибудуть на станцію; t_0, τ – моменти початку та завершення планового періоду відповідно; $\lambda_j(t)$ – інтенсивність потоку контейнерів кратності j , як функція від часу; q_{ij} – кількість подій потоку кратності j на часовому інтервалі $[t_0, \tau]$ у i -му варіанті реалізації розвитку подій; s – максимальна кратність потоку, яка розглядається на даному терміналі; $x(s, k)$ – потужність множини імовірнісних випадків розвитку подій при даних значеннях змінних s та k , коли під випадком розуміється одна з можливих реалізацій потоку, що характеризується множиною $\{q_{i1}, q_{i2}, q_{i3} \dots q_{is}\}$; потоку, яка розглядається на даному терміналі; $\int_{t_0}^{\tau} \sum_{i=1}^s \lambda_i(t) dt = \int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt = \Lambda(t)$ – «ведуча функція потоку» [88,94], тобто кумулятивна сумарна інтенсивність потоків всіх кратностей як функція від часу.

Як зазначено у формулі, при проведенні обчислень по кожному i -му випадку необхідно враховувати всі q_{ij} , які задовольняють відношенню: $q_{i1} + 2q_{i2} + 3q_{i3} + \dots + sq_{is} < k$, тобто такі, що забезпечують неперевищення сумарною кількістю подій потоків всіх кратностей кількості k .

Таким чином, якщо максимальна кратність потоку, тобто максимальна кількість контейнерів TEU, які можуть одночасно надійти до термінальної станції, дорівнює 3, тоді формула для розрахунку імовірності накопичення, наприклад, щонайменше восьми контейнерів протягом часового інтервалу $[t_0, \tau]$ буде мати наступний вигляд

$$\begin{aligned}
 P(8, [t_0, \tau]) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) & \left(\frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^7}{7!} + \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^5 \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right)}{5!!} + \right. \\
 & + \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^3 \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right)^2}{3!2!} + \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right) \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right)^3}{1!3!} + \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^2 \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right) \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_3(t) dt\right)}{2!!1!!} + \\
 & \left. + \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right) \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_3(t) dt\right)^2}{1!2!} + \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^4 \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_3(t) dt\right)}{4!!1} + \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right)^2 \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_3(t) dt\right)}{2!!1} \right) \cdot (2.8)
 \end{aligned}$$

Таким чином, отримана важлива залежність, яка є важливим ланцюгом для побудови моделі планування залізничних перевезень контейнерів від термінальних станцій до порту. Слід зазначити, що ця залежність є коректною лише для потоків, які мають однакову природу із природою потоку, який був досліджений і класифікований як неординарний нестационарний потік Пуассона. Однак реальні потоки можуть бути описані такою моделлю лише у випадку, коли вони утворені множиною незалежних подій, тобто коли до термінальної станції надходять контейнери від значної кількості незалежних відправників. До того ж не слід вважати, що така умова може виконуватись лише на великих терміналах, адже навіть при обмеженій кількості постачальників їх виробничі і транспортні процеси можуть бути такими, що генерують потоки, які є наближеними до стохастичних. До того ж, приналежність потоку до класу потоків Пуассона не означає його повну стохастичність, адже такі характеристики нестационарного і неординарного потоку Пуассона як інтенсивність і кратність подій можуть бути відомими і

залежними від певних факторів, бути функціями від історичного процесу. Незалежність потоку Пуассона відноситься лише до визначення безпосереднього моменту настання наступної події. Потік Пуассона, інтенсивність якого є також стохастичною функцією, називається подвійно-стохастичним процесом, або процесом Кокса [95].

Однак слід зазначити, що не для всіх контейнеропотоків між підприємствами-вантажовідправниками і залізничними станціями, які виконують роль терміналів у системах інтермодальних перевезень, модель потоку Пуассона є коректною, навіть за умови якщо вона враховує його властивості, такі як неординарність і нестационарність. Вже найперші моделі потоків, як, наприклад, класичні потоки Пальма, володіли такою властивістю, як «обмежена післядія» [96]. Ця обмежена післядія і є залежністю від минулого, хоча в потоках Пальма вона виражається лише в залежності від моменту настання останньої попередньої події. Однак існують також принципово різні види залежностей, вони визначаються природою потоків які моделюються, адже галузі людської діяльності, у яких присутні випадкові процеси є дуже різноманітними. Сучасна теорія знаходиться лише в стадії становлення однак вже активно досліджуються та вдосконалюються моделі потоків які володіють такими властивостями як, наприклад, самозбудження та самокорекція. Потоки, що володіють властивістю самозбудження, мають назву потоків Хокса [97]. Вони застосовуються для моделювання таких явищ як, наприклад, землетруси. Таким чином при появі поштовхів імовірність їх продовження в найближчому майбутньому різко підвищується, а отже функція інтенсивності відчуває розрив першого роду із подальшим зниженням до певного базового рівня. Для потоків, які володіють такою властивістю, як самокорекція [98], навпаки притаманне падіння рівня інтенсивності на інтервалі, який розташований безпосередньо після моменту відбуття події із подальшим плавним відновленням до базового рівня або постійним зростанням до моменту настання наступної події.

Слід зазначити, що подібні властивості, які визначають залежність майбутнього процесу від його минулого, можуть бути певною мірою

притаманні і контейнеропотокам, які генерують підприємства-вантажовідправники. Якщо, наприклад, підприємство працює неритмічно і відправляє одночасно великі партії контейнерів через тривалі часові інтервали, тоді прибуття невеликої кількості контейнерів з боку цього підприємства до термінальної станції скоріше за все означає, що найближчим часом ще надійде частина контейнерів з цієї партії. Навпаки, прибуття контейнерної партії звичайного розміру від ритмічно працюючого підприємства, яке відправляє контейнери однаковими партіями із певною періодичністю, скоріше за все означає що прибуття ще однієї партії одразу після попередньої є подією малоімовірною. До того ж, у випадку даного підприємства, у разі якщо інтервал між поточним моментом часу та моментом настання останньої події потоку починає значно перевищувати середнє значення – імовірність настання події, а отже й інтенсивність, значно зростає, одночасно зростає й імовірність того, що розмір наступної контейнерної партії також перевищить її середнє значення. Певний вплив також мають і сезонність попиту на продукцію, наближення моменту прибуття контейнеровозів до порту, наявність або відсутність складських приміщень та багато інших факторів. Таким чином, реальні потоки є продуктом складних виробничих та ринкових процесів, які одночасно відчують також певний вплив зовнішніх факторів, а отже, для їх відтворення використання моделі, яка відображає лише один механізм залежності, як, наприклад, модель Хокса, є неможливим.

Таким чином, для представлення реальних потоків надходження контейнерів доцільно побудувати більш універсальні моделі. До моделей, які володіють певним рівнем універсальності відносно механізмів залежності та гнучкості при відтворенні сили післядії, в першу чергу можна віднести модель Ерланга. Як було показано вище, інтенсивність подій, яка є змінною у часі, є також важливим елементом моделі даного процесу. Отже у якості основи такої моделі доцільно використати модель на основі нестационарного потоку Ерланга. Потік Ерланга є окремим випадком Гамма потоку [99]. Інтервал часу між подіями потоку Ерланга розподілений за законом Ерланга, який є також

окремим випадком Гамма розподілу, а саме розподіл Ерланга є розподілом Гамма із цілочисельним параметром форми k . Для Гамма потоку, а тим більше для нестационарного Гамма потоку на даний час не отримано аналітичної функції для розрахунку імовірності настання певної кількості подій на протязі певного часового інтервалу. Однак у випадку потоку Ерланга для отримання такої залежності можна скористатися його властивістю, яка є наслідком його зв'язку з потоком Пуассона. Як відомо, потік Ерланга можна отримати завдяки процедурі прорідження потоку Пуассона, як показано на рис 2.10.

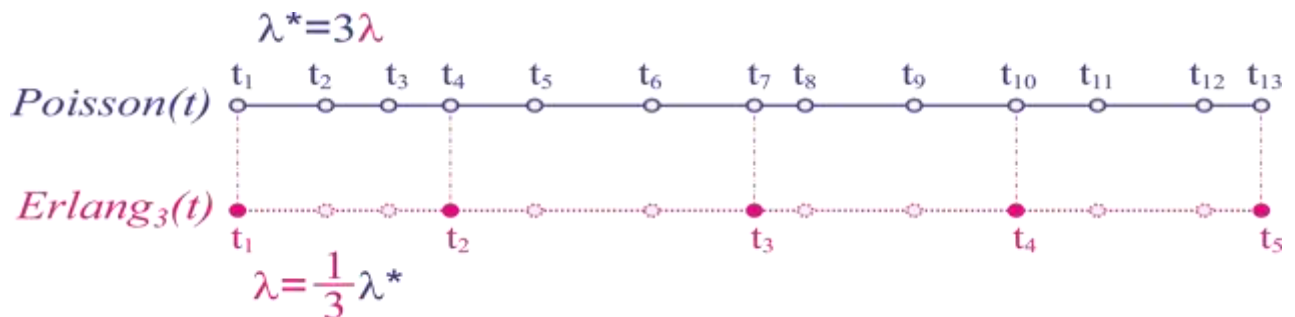


Рисунок 2.10 – Ілюстрація процесу проріджування потоку Пуассона для отримання потоку Ерланга 3-го порядку

Таким чином, для отримання потоку Ерланга k -го порядку необхідно із потоку Пуассона залишити кожен k -ту подію. Отже на k подій потоку Пуассона припадає одна подія потоку Ерланга. Тоді, з урахуванням того факту, що інтенсивність потоку Ерланга, а також кількість його подій є у k разів нижчими ніж у первинного потоку Пуассона, імовірність настання рівно n подій ординарного стаціонарного ($\lambda = const$) потоку Ерланга можна було б записати наступною формулою

$$P(N([t_0, \tau]) = n) = \exp(-k\lambda t) \frac{(k\lambda t)^{kn}}{(kn)!} . \quad (2.9)$$

Однак слід зазначити, що n подій потоку Ерланга можуть відбутися не лише за умови настання kn подій потоку Пуассону. Наприклад, рівно 2 події потоку Ерланга (рис. 2.10) відбудуться не лише у разі настання 6 подій потоку Пуассона, але й у разі настання 5, або 4 його подій. Таким чином, імовірність настання n подій потоку Ерланга відповідає імовірності потрапляння кількості подій потоку Пуассона у інтервал $[(k-1)n+1, kn]$, а отже імовірність, яку можна обчислити за вищенаведеною формулою є заниженою. Таким чином, з урахуванням зазначеного упущення, формулу для імовірності набуде наступного вигляду

$$P(N([t_0, \tau]) = n) = e^{-k\lambda t} \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(k\lambda t)^{k((k-1)n+1+i)}}{((k-1)n+1+i)!}. \quad (2.10)$$

Однак з точки зору специфіки задачі, що вирішується, інтерес представляє імовірність настання щонайменше n подій потоку. Даний потік є необмеженим у часі, а тому події потоку представлені нескінченною множиною елементів. За таких умов для розрахунку зазначеної імовірності доцільно з імовірності повної групи подій (яка дорівнює одиниці) відняти імовірності випадків, при яких кількість подій, які відбудуться протягом даного часового інтервалу, є меншою за n : $P = P(N([t_0, \tau]) < n)$. Для даного ординарного стаціонарного потоку Ерланга її можна записати наступним чином

$$P(N([t_0, \tau]) \geq n) = 1 - e^{-k\lambda t} \sum_{i=0}^{k(n-1)} \frac{(k\lambda t)^i}{i!}. \quad (2.11)$$

Таким чином формула для умови $N([t_0, \tau]) \geq n$ виявилась значно простішою аніж для умови $N([t_0, \tau]) = n$. Отже для обчислення імовірності настання, наприклад, щонайменше чотирьох подій потоку Ерланга необхідно від одиниці відняти імовірності настання від однієї до дев'яти подій первинного потоку Пуасона, тобто імовірності настання лише першої події, першої і другої події, першої другої та третьої події і так далі до дев'ятої, тобто до $k(n-1) = 3(4-1) = 3 \cdot 3 = 9$.

Для побудови моделі визначення імовірнісних характеристик процесу накопичення контейнерів на термінальних залізничних станціях в умовах здійснення інтермодальних перевезень, необхідно отримати формулу розрахунку імовірності настання щонайменше n подій для нестационарного неординарного потоку Ерланга. Таким чином, для визначення імовірності настання щонайменше n подій нестационарного неординарного потоку Ерланга доцільно застосувати принцип, який був використаний для неординарного потоку Пуасона, тобто представлення неординарного потоку у вигляді суперпозиції декількох потоків, події яких групуються за ознакою кратності. З огляду на нестационарність потоку, параметр λ потрібно замінити функцією $\lambda(t)$. Також слід зазначити, що вираз λt у формулах 2.7–2.9 в умовах стаціонарного потоку фактично представляє собою кумулятивну функцію інтенсивності, а отже у випадку нестационарного потоку цей вираз

слід замінити виразом $\int_{t_0}^{\tau} \lambda(t) dt$. Також для неординарного потоку необхідно

спиратися на формулу 2.10 замість формули 2.11. Це обумовлено тим фактом, що в умовах ординарного потоку не має сенсу обмежувати кількість подій зверху. Однак в умовах неординарного потоку, який представлений суперпозицією потоків подій однакової кратності, потрібно відстежувати кількості подій складових потоків, адже за умов суперпозиції потоків

з'являється необхідність контролювати суму подій потоків, які відрізняються за параметром кратності подій. Враховуючи ці зауваження, формулу розрахунку імовірності настання щонайменше n подій потоку для нестационарного неординарного потоку Ерланга можна записати наступним чином

$$P(N([t_0, \tau]) \geq n) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{i=1}^{x(s,k)} \prod_{j=1, \Sigma q_{ij} < k, q_{ij} \in \mathbb{N}}^s \sum_{r=0}^{k_j-1} \frac{\left(k_j \int_{t_0}^{\tau} \lambda_j(t) dt\right)^{k_j((k_j-1)q_{ij}+1+r)}}{((k_j-1)q_{ij}+1+r)!}. \quad (2.12)$$

Отримана формула є важливою складовою для побудови моделі імовірнісних характеристик контейнеропотоків на термінальних залізничних станціях. Адже у випадках, коли кількість вантажовідправників є обмеженою – може виявитися наявність певних паттернів у картині надходження контейнерів, що свідчить про певний рівень залежності часових інтервалів між подіями. Для багатьох таких процесів модель потоку Ерланга дозволить точно спланувати процес накопичення контейнерних партій, тоді як їх апроксимація Пуассонівським потоком буде некоректною.

2.5 Формалізація процесу управління залізничними контейнерними перевезеннями у вигляді задачі стохастичного програмування

Як було доведено вище, транспортування контейнерів сухопутною частиною шляху при здійсненні інтермодальних перевезень не лише відчуває вплив значної кількості випадкових процесів, але й сам первинний контейнеропотік, який зароджується з потоків вантажовідправників, також може бути представлений випадковим точковим процесом. Ця випадковість є джерелом математичної невизначеності, яка не лише представляє додаткову складність разом із комбінаторною складністю задачі, але й може суттєво її посилювати. Таким чином дана задача управління представляє собою задачу

стохастичної оптимізації. Однак задачі, які розглядають не окремі випадкові події або змінні, а випадкові потоки є найменш дослідженими в науковій літературі [100].

Вочевидь ця задача належить до підкласу задач стохастичної оптимізації, який має назву «стохастичне програмування». Це підтверджує не лише той факт, що до області рішень даної задачі може бути застосоване поняття розмірності, яка залежить від вихідних даних задачі, а саме від кількості термінальних залізничних станцій, що розглядаються в межах системи інтермодальних перевезень, а отже ця область може бути представленою у вигляді векторного простору, який має кінцеву розмірність. Однією з основних особливостей, які також притаманні задачам стохастичного програмування і відокремлюють їх з множини інших задач стохастичної оптимізації – є спосіб визначення цільової функції та обмежень – в задачах стохастичного програмування значення деяких із цих складових елементів математичної моделі є числовими характеристиками випадкових явищ, які залежних від значень, які приймають змінні моделі [101]. Такими явищами, наприклад, є процеси проходження поїздів, що містять контейнери, через сортувальні станції, та в першу чергу це випадкові потоки надходження контейнерів та пов'язані з ними лічильні потоки, параметри яких, в тому числі й імовірність, залежать від точки, обраної на часовій вісі процесу. Якщо $F(x)$ – цільова функція, в задачі стохастичного програмуванні визначена функція $f(x, \xi)$, де $x \in \mathbb{R}^n$ – вектор керуючих змінних, ξ – вектор випадкових параметрів, тоді формально цільову функцію в загальному вигляді можна записати наступним чином [101]

$$F(x) = M(f(x, \xi)) = \int_{\Omega} f(x, \xi(\omega))P(d\omega), \quad (2.13)$$

де Ω – абстрактний імовірнісний простір; P – відповідна імовірнісна міра; ξ – вектор імовірнісних змінних.

Слід зазначити, що важливим моментом моделі з практичної точки зору є необхідність забезпечення певного рівня надійності рішень, які можуть бути отримані за допомогою її застосування. Тобто виникає необхідність накладення обмеження на саму імовірнісну міру P , а отже її також необхідно віднести до складу змінних моделі.

Таке обмеження призначене для звуження області допустимих рішень та забезпечення належного рівня впевненості у можливості практичної реалізації отриманого рішення. Але в той же час добре відомо, що такі обмеження викликають додаткові математичні труднощі в ході оптимізації моделі, такі як відсутність опуклості або зв'язності області рішень [102].

2.6 Формування математичної моделі

Важливою складовою моделі управління контейнерними перевезеннями є модель кількісної оцінки надходження контейнерів до термінальних станцій з одночасним контролюванням імовірнісних характеристик цього процесу. Таким чином, із урахуванням отриманих вище моделей, визначимо функціонал

$$W = W\left(P, \tau, \{\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_{n^c}(t)\}, \{q_1, q_2, \dots, q_{n^c}\}\right), \quad (2.14)$$

який повертає мінімальне значення кількості контейнерів, що із імовірністю P будуть накопичені на станції протягом часового інтервалу τ із урахуванням множини функцій інтенсивностей $\{\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_{n^c}(t)\}$ та множини величин кратностей $\{q_1, q_2, \dots, q_{n^c}\}$ складових потоків, де n^c – кількість складових потоків.

Слід також зазначити, що в системі інтермодальних перевезень не лише потоки контейнерів від вантажовідправників до термінальних пунктів є випадковими. Фактор випадковості у повній мірі присутній таким його параметрам, як, наприклад, час переформування поїздів на сортувальних станціях, час слідування поїздів по дільницях [10], час переміщення поїзда від припортової залізничної станції до портових складів або причалів та багато інших параметрів. Неодноразово доведено [103], що перелічені параметри підпорядковуються нормальному або близьким до нього законами розподілу, фактичні значення цих параметрів можуть відрізнятися від середніх або нормативних у декілька разів. Отже можна стверджувати, що планування транспортних процесів без урахування різних видів їх невизначеності може значно знижувати якість управління. В умовах високої щільності та когерентності процесів при здійсненні інтермодальних перевезень врахування імовірнісної природи процесів є критично важливим при прийнятті рішень в ході оперативного планування.

З урахуванням вищезазначеного стає можливим формулювання задачі раціональної організації транспортування контейнерів до морського порту за допомогою залізничного транспорту при здійсненні інтермодальних перевезень у вигляді задачі стохастичної оптимізації.

Основним чинником управління за таких умов є визначення часів закінчення накопичення контейнерів і початку їх транспортування до морського порту. Від кількості накопичених контейнерів залежить спосіб і відповідна собівартість їх переміщення: у складі прямого маршруту, у складі неповносоставного прямого поїзда, у складі інших поїздів із подальшим переформуванням на сортувальних станціях на шляху прямування.

Слід зазначити, що така постановка задачі допускає певні варіювання собівартості транспортування контейнерів як на різних залізничних напрямках так і в межах одного напрямку. Однак головною метою є мінімізація сукупних витрат інтермодального оператора при здійсненні доставки контейнерів залізничними шляхами до морського порту. За таких умов у якості критерію

доцільно обрати питому величину витрат, що припадає на транспортування одного контейнера. Отже цільову функцію можна визначити наступним чином

$$\begin{aligned}
C(\tau, \omega, P) = & \frac{1}{\sum_{i=1}^z (N_i(P, \tau_i) + N_i^0)} \sum_{i=1}^z \left(e_{к-г} \int_{t_0}^{\tau_i} W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right) dt + e_{в-км} \cdot l_i \frac{1}{\rho_i} \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right) + N_i^0 \right) + \right. \\
& + e_{п-г} \frac{l_i}{v_i^{пн}} + \left(e_{к-г} \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right) + N_i^0 \right) + e_{в-г} \frac{1}{\rho_i} \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right) + N_i^0 \right) \right) \times \\
& \times \left(\tau_i + \frac{l_i}{v_i^{пн}} + (1 - \omega_i) H \left((m_i - \delta_i) - \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right) + N_i^0 \right) \sum_{j=1}^{S_i} (\mu_{ij}^{пеп} + \sigma_{ij}^{пеп} \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2P - 1)) + \frac{k_i^{пс}}{\lambda_i^{пс}} \left(\int_0^P x^{k_i^{пс} - 1} e^{-x} dx \right)^{-1} \right) + \right. \\
& \left. + e_{с-г} \left(T_i(\tau_i) + \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right) + N_i^0 \right) t_{к-г} - t_{зп} \right) H \left(T_i(\tau_i) + \left(W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right) + N_i^0 \right) t_{к-г} - t_{зп} \right) \right) \rightarrow \min
\end{aligned} \quad (2.15)$$

де P – поточний рівень імовірності; z – кількість маршрутів доставки контейнерів до порту; τ – змінний вектор часів закінчення накопичення контейнерних партій $\tau = (\tau_1, \tau_2 \dots \tau_z)$ на термінальних станціях маршрутів; ω – вектор булевих змінних $\omega = (\omega_1, \omega_2 \dots \omega_z)$, які приймають значення 1 у випадку відправлення неповносоставного маршрутного контейнерного поїзда, та 0 у іншому випадку; $e_{к-г}$ – вартість контейнеро-години; $e_{в-г}$ – вартість вагоно-години; $e_{в-км}$ – вартість вагоно-кілометра; $e_{с-г}$ – вартість судно-години; t_0 – момент початку періоду планування; $W_i \left(P, \tau_i, \{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}, \{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\} \right)$ – функціонал, який повертає мінімальне значення кількості контейнерів, які із імовірністю P будуть накопичені на термінальній станції i -го маршруту на момент часу τ_i відповідно до множини функцій інтенсивностей $\{\lambda_{li}(t), \dots, \lambda_{n_i^c}(t)\}$ та множини величин кратностей $\{q_{li}, \dots, q_{n_i^c}\}$ складових потоків прибуття контейнерів на термінальну (початкову) станцію i -го маршруту; n_i^c – кількість складових потоків на термінальній станції i -го маршруту; N_i^0 – кількість контейнерів на термінальній станції i -го маршруту

на момент початку періоду планування t_0 ; l_i – довжина i -го маршруту від термінальної станції до порту; ρ_i – місткість фітингової платформи у контейнерах на i -му маршруті (залежить від типів фітингових платформ та типів контейнерів, що використовуються); m_i – норма кількості вагонів у складі поїзда на i -му маршруті із розрахунку, що одна фітингова платформа перевозить один 40-футовий контейнер; δ_i – максимальне відхилення кількості вагонів у бік зменшення при формуванні прямого контейнерного поїзда на i -му маршруті; v_i^{din} – середня дільнична швидкість поїзда на i -му маршруті; S_i – кількість сортувальних станцій на шляху прямування за i -м маршрутом; $\mu_{ij}^{nep}, \sigma_{ij}^{nep}$ – величини математичного очікування та середньоквадратичного відхилення відповідно при обчисленні квантілі нормального закону розподілу часу переробки поїзда на j -й сортувальній станції i -го маршруту $Q_{ij}^{nep}(P, \mu_{ij}^{nep}, \sigma_{ij}^{nep}) = \mu_{ij}^{nep} + \sigma_{ij}^{nep} \sqrt{2} \operatorname{erf}^{-1}(2P-1)$, що містить у своєму складі вагони з контейнерами; $\operatorname{erf}^{-1}(x)$ – зворотна функція похибок Лапласа; λ_i^{nc}, k_i^{nc} – інтенсивність та порядок розподілу Ерланга, за яким розподілений час просування поїздів від припортової станції до порту на i -му маршруті, що використовуються при обчисленні квантілі $Q_i^{nc}(P, k_i^{nc}, \lambda_i^{nc}) = \frac{k_i^{nc}!}{\lambda_i^{nc}} \left(\int_0^P x^{k_i^{nc}-1} e^{-x} dx \right)^{-1}$; $T_i(\tau_i)$ – поточний час прибуття контейнерів по i -му маршруту до порту; t_κ – середній час завантаження контейнера на судно; t_{zn} – момент часу закінчення завантаження судна згідно розкладу; H – функція Гевісайда, яка визначена наступним чином

$$H(x) = \begin{cases} 1 & , \text{якщо } x > 0 \\ 0 & , \text{якщо } x \leq 0 \end{cases} \quad (2.16)$$

Слід також зазначити, що витрати, пов'язані із можливою затримкою судна, враховані у цільовій функції лише з метою підвищення якості планування роботи залізничного транспорту при взаємодії із морським портом, а не для одночасної оптимізації експлуатаційних витрат підприємств залізничного і морського транспорту.

Перший множник представляє собою величину зворотну до сумарної чисельності контейнерних партій і використовується для обчислення питомих експлуатаційних витрат, що припадають на перевезення одного контейнера. Перший доданок у дужках представляє собою витрати, пов'язані з контейнеро-годинами, що витрачаються у процесі накопичення контейнерних партій на термінальних станціях. Другий доданок представляє витрати, пов'язані з вагоно-кілометрами, що виникають при переміщенні контейнерних партій. Третій доданок представляє витрати, що пов'язані поїздо-годинами у русі при транспортуванні контейнерних партій. Четвертий доданок представляє витрати, що пов'язані із вагоно- та контейнеро-годинами, які виникають під час руху поїздів по дільницях, під час невиробничого простою вагонів та в процесі їх обробки на сортувальних станціях, а також в процесі просування поїздів від припортових станцій до порту. П'ятий доданок представляє витрати, що пов'язані із невиробничим простоем судна, які виникають внаслідок невчасного прибуття контейнерних партій.

Оптимізація даної моделі повинна проводитись із урахуванням наступних обмежень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_i \geq 0, \quad \forall i = 1, 2, \dots, z \\ P \geq P_{\min} \\ N_i^0 + W_i \left(P, \tau_i, \left\{ \lambda_{1i}(t), \dots, \lambda_{n_i^c i}(t) \right\}, \left\{ q_{1i}, \dots, q_{n_i^c i} \right\} \right) \leq m_i^{\max}, \quad \forall i = 1, 2, \dots, z, \\ \sum_{i=1}^z \int_{\tau_0}^{\tau_i} W_i \left(P, \tau_i, \left\{ \lambda_{1i}(t), \dots, \lambda_{n_i^c i}(t) \right\}, \left\{ q_{1i}, \dots, q_{n_i^c i} \right\} \right) dt \leq N_c \end{array} \right. \quad (2.17)$$

де P_{\min} – мінімально допустимий рівень імовірності при плануванні, тобто мінімальний рівень впевненості у можливості реалізації отриманого плану; m_i^{\max} – максимально допустима кількість вагонів у складі поїзда на i -му маршруті; N_c – кількість вільних місць для завантаження контейнерів на судні.

Перше обмеження необхідне для забезпечення умови невід’ємності часів завершення накопичення контейнерних партій. Друге обмеження забезпечує необхідний рівень здійсненості плану. Третє обмеження запобігає накопиченню контейнерів у кількості, яка перевищує максимально допустимий склад поїзда. Четверте обмеження запобігає накопиченню та перевезенню контейнерів сумарно по всіх терміналах у кількості, яка перевищує кількість вільних контейнеромісць на судні.

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.

2.7 Висновки до розділу 2

Аналіз технології організації транспортування контейнерів сухопутною ділянкою маршруту в умовах інтермодальних перевезень виявив проблеми, які полягають у наявності значних перепростоїв контейнерів на сортувальних і припортових станціях, виникнення затримок при завантаженні суден.

Однак найбільш вразливим і в той же час відповідальним елементом технологічного циклу є процес накопичення контейнерних партій на термінальних залізничних станціях, який безпосередньо залежить від процесу

надходження контейнерних партій від вантажовідправників. Не зважаючи на існування попередніх домовленостей про надходження контейнерів до вантажних термінальних станцій між вантажовідправниками та залізницею, такі контейнеропотоки мають всі ознаки стохастичності.

На основі аналізу особливостей технологічного процесу формування та просування контейнерних поїздів було встановлено, що математична модель, яка може бути придатною для адекватного його відтворення і використання у якості основи для формування автоматизованої технології організації транспортування контейнерів залізничними шляхами в рамках системи інтермодальних перевезень, повинна враховувати його стохастичну складову.

На основі аналізу підходів і методів різних наукових теорій, що пов'язані з дослідженням та представленням стохастичних процесів, було встановлено, що інструментом, який є найбільш придатним для формалізації процесів надходження контейнерів до термінальних залізничних станцій та накопичення контейнерних партій з метою формування і відправлення контейнерних поїздів є математичний апарат теорії випадкових потоків або часових точкових процесів.

На основі реальних даних процесу надходження контейнерних партій до термінальної станції за допомогою статистичного аналізу було доведено, що адекватною моделлю для його представлення є модель нестационарного неординарного потоку Пуассона, важливою інтерпретацією якої є супутній лічильний процес. Було показано, що одним з найважливіших параметрів процесу надходження контейнерів як випадкового потоку, з точки зору теорії, є функція умовної інтенсивності, яка представляє собою функцію фільтрації історії випадкового часового точкового процесу і яка є основою для обчислення всіх необхідних його числових характеристик.

Було доведено, що найбільш простим способом формалізації нестационарного неординарного потоку є його представлення у вигляді суперпозиції потоків, кожен з яких представляє множину подій однакової кратності. 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.

Був отриманий загальний вигляд функції оцінки імовірності накопичення контейнерної партії певної чисельності протягом визначеного часового інтервалу для випадку представлення процесу надходження контейнерів у вигляді нестационарного неординарного потоку Пуассона.

Показано, що модель потоку Пуассона все ж не можна розглядати як універсальну модель процесу надходження контейнерних партій, адже часто таким процесам притаманна виражена властивість післядії, яка зокрема пов'язана з ритмічністю виробництва, виробничими циклами та багатьма іншими факторами. На основі аналізу моделей потоків, які описують різні за природою випадкові процеси, було показано, що найбільш адекватною моделлю для формалізації таких контейнеропотоків є модель потоків Ерланга.

Для нестационарних неординарних потоків Ерланга, які найбільш адекватно формалізують процеси надходження контейнерів, подіям яких притаманний певний ступінь залежності, також був отриманий загальний вигляд функції оцінки імовірності накопичення контейнерної партії певної чисельності протягом визначеного часового інтервалу.

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 моделі представляє критерій сумарних експлуатаційних витрат, який враховує витрати, що пов'язані із простоем контейнерів і залізничного рухомого складу на станціях, а також перепростоем суден у портах та витрати на просування поїздів по залізничних дільницях. Модель також містить систему обмежень, які обумовлені особливостями

технологічного процесу. Одним із обмежень також є мінімальний рівень імовірності, який можна інтерпретувати як рівень впевненості у можливості реалізації отриманого рішення.

Формалізація процесу планування у вигляді задачі стохастичного програмування надає додаткові можливості для прийняття якісних управлінських рішень, завдяки гнучкості в порівнянні із детермінованими моделями, які використовують імовірнісні параметри випадкових процесів лише у вигляді сталих величин, таких як, наприклад, математичне очікування.

В результаті оптимізації даної моделі можуть бути визначені моменти закінчення накопичення та спосіб транспортування контейнерних партій одночасно по всіх термінальних станціях полігону, які відповідають мінімуму експлуатаційних витрат. Таким чином, розроблена модель дозволить використовувати системний ефект взаємодії транспортних процесів термінальних залізничних станцій і морських портів при отриманні оптимального оперативного плану, одночасно забезпечуючи необхідний рівень впевненості у можливості його реалізації. Дана властивість моделі в свою чергу є результатом застосування математичного апарату випадкових потоків, який надає можливість отримання адекватних оцінок числових характеристик складних стохастичних процесів, які є невід'ємними складовими процесу накопичення і транспортування контейнерних партій і налічують значні кількості випадкових подій, завдяки можливості оперування ними в єдиному імовірнісному полі.

РОЗДІЛ 3

ФОРМУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ЗАЛІЗНИЦЕЮ В УМОВАХ ІНТЕРМОДАЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

3.1 Аналіз вихідних даних та методів прогнозування часових рядів

Важливою складовою процесу оптимізації моделі організації транспортування контейнерів залізницею в рамках системи інтермодальних перевезень є завдання отримання і підготовки даних. Розроблена модель є моделлю стохастичного програмування і дозволяє варіювання змінними в певних межах, враховуючі імовірнісні та статистичні залежності між ними. Однак, для забезпечення точності, яка б забезпечила можливість вироблення якісних управлінських рішень, використання лише статистичних даних процесів надходження контейнерів, таких як, наприклад, математичне очікування та дисперсія інтервалу між надходженням контейнерів, є недостатнім.

Таким чином, для можливості використання моделі в першу чергу потрібна динаміка параметрів контейнеропотоків. Враховуючи підходи теорії точкових процесів, які були застосовані при побудові моделі, інтенсивність можна вважати практично вичерпною характеристикою потоку. Враховуючи те, що при вирішенні задачі контейнеропотоки розглядаються як нестационарні випадкові потоки, таким чином, інтенсивність не є сталою величиною а представляє собою часову залежність.

Таким чином, забезпечення можливості прийняття рішень на майбутній плановий період потребує наявності прогнозу інтенсивностей потоків надходження контейнерів до термінальних станцій. Здійснення прогнозу потребує наявності даних за певний період у минулому.

Однак у такому разі постає питання представлення цих даних. Популярним способом представлення зміни показників у часі є часові ряди. За визначенням: часові ряди – зібраний в певні моменти часу статистичний матеріал що містить значення одного чи декількох параметрів. З іншого боку слід зазначити, що у другому розділі аналітичні функції інтенсивності були представлені за допомогою поліномів. Першочерговим питанням, що виникає у зв'язку з цим є – чи існують відповідні прогностні моделі, які б приймали у якості вхідних даних аналітичні залежності. Такі моделі дійсно існують, вони іноді використовуються в сферах економіки та фінансів, при вирішенні задач, які потребують більшої точності ніж доступні статистичні вибірки даних [104]. Однак їх реалізація пов'язана з необхідністю побудови складних різницевих схем та вирішення систем стохастичних диференціальних рівнянь [105]. Таким чином використання традиційних часових рядів, або хоча б дискретних моделей представлення даних є більш виправданим.

Наступним постає питання вибору математичного апарату для прогностної моделі. На рисунку 3.1 наведено схему класифікації найбільш популярних моделей, що використовуються для прогнозування часових рядів. Доволі широкий клас моделей, що у своїй основі використовують такі класичні методи як метод експоненційного згладжування та інші авторегресійні методи, як наприклад методи Бокса-Кокса [106] та Бокса-Дженкінса [107], які дозволяють відстежувати сезонні ефекти. Хоча більшість цих методів створені ще у 60-ті роки минулого сторіччя вони і досі успішно використовуються при створенні сучасних і ефективних прогностних моделей, як наприклад гібридна модель TBATS [108], яка з високою точністю відстежує мультисезонні паттерни. Ключовим моментом популярності цих моделей є відносна простота їх побудови і застосування. Окремий клас моделей, які побудовані на основі методу Баєсовського виводу, має назву мереж довіри [109]. Ці моделі відносяться до галузі штучного інтелекту і будуються на основі графових структур, які представляють імовірнісні зв'язки. Однак для їх побудови необхідні спеціальні знання та наявність специфічного статистичного

матеріалу, що значно ускладнює їх застосування. Клас моделей на основі мереж довіри, що використовуються для прогнозування часових рядів, включає як безпосередньо моделі на основі Баєсових мереж, так і моделі, що створені на основі їх гібридизації з моделями класу нейронних мереж, як наприклад, глибинна мережа довіри з обмеженими машинами Больцмана (англ. deep belief network with restricted Boltzmann machines) [110]. Дана модель є ефективною, однак коло задач, у яких вона може бути успішно застосована, обмежено задачами, які розглядають хаотичні часові ряди, що зазвичай відносяться до області статистичної фізики. На основі аналізу була побудована класифікація основних типів моделей, які використовуються у сучасних дослідженнях та прогнозуванні часових рядів (рис. 3.1).

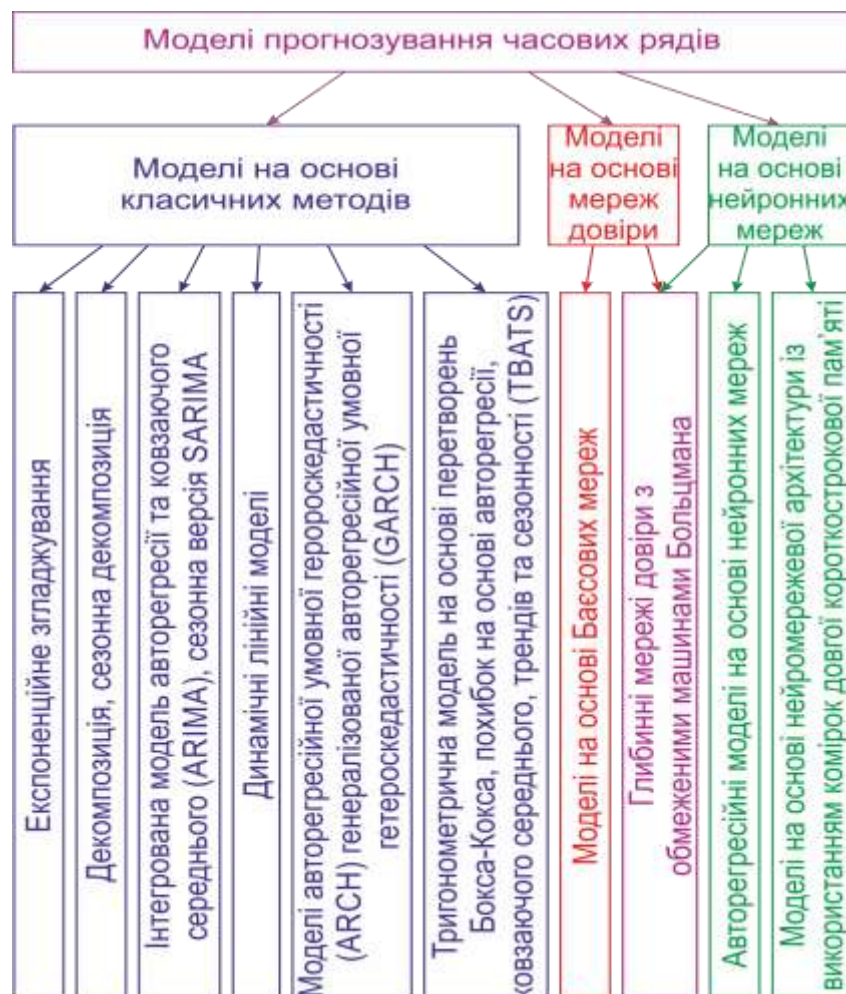


Рисунок 3.1 – Класифікація моделей прогнозування часових рядів

Клас моделей що побудовані із застосуванням математичного апарату нейронних мереж також представлений моделями, що створені на основі гібридизації із класичними моделям, в першу чергу моделями авторегресії. Помітні успіхи в задачах передбачення послідовностей, до яких відносяться і часові ряди, були досягнуті завдяки використанню в прогнозних моделях математичного апарату рекурентних нейронних мереж (англ. recurrent neural network, RNN) [111]. Однак найбільш успішною сучасною нейронною архітектурою для моделей прогнозування часових рядів вважаються рекурентні нейронні мережі на основі модулів довгої короткострокової пам'яті (рис. 3.1).

3.2 Принципи застосування моделей глибинного навчання для прогнозування часових параметрів та метод кодування даних функцій інтенсивності контейнеропотоків

Нейронні мережі глибинного навчання для налаштування ваг використовують алгоритм RMSProp, який є спеціальним різновидом алгоритму стохастичного градієнта спуску. Стохастичний градієнтний спуск - це алгоритм оптимізації, який оцінює градієнт помилок для поточного стану моделі за допомогою прикладів з навчальної вибірки даних, а потім оновлює ваги моделі за допомогою алгоритму зворотного поширення помилок (англ. back propagation). Важливою характеристикою цього процесу є параметр, який називається "швидкістю навчання" (англ. learning rate), який безпосередньо пов'язаний з розміром кроку алгоритму градієнтного спуску

Штучні нейронні мережі відносяться до галузі штучного інтелекту (англ. artificial intelligence). Вони були створені як моделі, які взмозі нівелювати недоліки традиційних алгоритмів навчання, які базуються на програмуванні на основі правил.

Нейронні мережі довгої короткострокової пам'яті (англ. long short-term memory; LSTM) відносяться до класу рекурентних нейронних мереж [112].

Нейронні мережі архітектури LSTM, як і більшість моделей класу рекурентних нейронних мереж, є універсальними у тому сенсі, що за умови достатньої кількості нейронів вони можуть апроксимувати будь які функції із заданим рівнем точності, тобто імітувати обчислювальні процеси будь якої складності. Такі обчислення є можливими після проходження процесу навчання та формування матриці ваг зв'язків між нейронами, яку можна інтерпретувати як базу знань і як комп'ютерну програму. Нейронні мережі архітектури LSTM можна вважати найменш універсальними із усього класу рекурентних нейронних мереж. Однак саме ці нейронні мережі здатні реалізувати технологію глибинного навчання (англ. deep learning) [113] і є найбільш пристосованими саме до задач обробки даних, класифікації, прогнозування часових рядів, зокрема нерегулярних часових рядів які не мають чітких параметрів та сталої величини кроку, часових рядів, ключові події яких віддалені на значні аперіодичні відстані, прогнозування яких за допомогою нейронних мереж будь яких інших архітектур є неефективним або практично неможливим.

Задача прогнозування часових рядів за допомогою нейронних мереж вирішується завдяки таким їх властивостям як можливість здійснювати узагальнення та знаходити приховані залежності [114]. Це ствердження в повній мірі стосується моделей на основі мереж «глибинного навчання». Нейронні мережі напрямку «глибинного навчання» є значно складнішими за нейронні мережі традиційного напрямку «машинного навчання». В процесі навчання їм непотрібно безпосередньо вказувати на певні ознаки даних, вони самі здатні їх виділяти. Фактично вони самі створюють функціональні структури, які здатні робити логічні висновки. Однак для цього вони можуть потребувати значно більших обсягів даних, обчислювальних потужностей та часу на навчання за мережі, що створені за технологіями машинного навчання.

Відносна нечутливість мереж архітектури LSTM до наявності часових затримок значної тривалості у даних часових рядів дозволяє їм успішно конкурувати при вирішенні задач прогнозування часових рядів будь якої

природи не лише з нейронними мережами інших архітектур, але й з іншими потужними математичними апаратами, які традиційно застосовуються у сфері прогнозування часових рядів, такими як приховані марковські мережі (англ. hidden markov models, HMM) та баєсові мережі (англ. bayesian nets, BN).

Однією з основних переваг LSTM-мереж є те, що у них певною мірою вирішена проблема довгострокової пам'яті. Рекурентні нейронні мережі, які існували до появи архітектури LSTM мали значно обмежені можливості запам'ятовування інформації. Мережі Елмана, наприклад, могли зберігати дані лише з попередньої ітерації обчислювального процесу мережі.

У мережах LSTM враховується взаємозв'язок вимірювань з часом, а не тільки статистичне різноманітність і статистичні характеристики вибірки

Таким чином, нейронна мережа архітектури LSTM є інструментом, який цілком доцільно застосовувати для прогнозування інтенсивності випадкових потоків, які представляють процеси надходження контейнерів на залізничні станції, які є термінальними пунктами в системах інтермодальних контейнерних перевезень. Як було показано вище, мережі даного типу можуть ефективно вирішувати задачі прогнозування часових рядів. Під часовими рядами маються на увазі послідовності даних, які є впорядкованими на часовій вісі. Таким чином, часові ряди – це послідовності даних з дискретним часом. Однак зазвичай мається на увазі також і те, що ці дані відповідають точкам на часовій вісі, які є рівно віддаленими одна від одної.

Однак прибуття контейнерів на термінальну станцію відбувається в певні випадкові моменти часу. Отже кожна така подія може бути відносно рідким явищем. Існують методи прогнозування розріджених часових рядів (англ. sparse time series), переривчастих часових рядів (англ. time series of intermittent demand). Також існують методи прогнозування таких часових рядів, як наприклад метод Кростона [115]. Однак подібні методи основані на простих математичних моделях, як наприклад модель експоненційного згладжування або модель експоненційно зваженої ковзаючої середньої. За допомогою даних апіорі неможливо якісно вирішити задачу прогнозування процесу

надходження контейнерів. У будь-якому разі загальна задача високоточного прогнозування часів прибуття розрідженого або переривчастого потоку подій без застосування нейронних мереж є неможливою. З іншого боку слід зазначити, що процеси надходження контейнерів до термінальних станцій не завжди можна класифікувати як потоки рідких подій або переривчасті потоки. У високорозвинених промислових регіонах Китаю навпаки контейнеропотоки можуть досягати таких інтенсивностей, коли середній інтервал часу між подіями потоку може досягати всього декількох секунд. До того ж, спрогнозувати з високою точністю послідовність настання навіть декількох подій практично неможливо.

За таких умов універсальну прогнозну модель можливо побудувати лише відмовившись від спроб прогнозування окремих точкових подій та переходу до прогнозування інтенсивностей потоку як функцій від часу. З іншого боку прогнозування функціональних залежностей можна здійснювати і без використання поняття часових рядів. Однак важливим є також і те, що отримання інтенсивності одразу у вигляді диференційованої функції дозволить уникнути зайвих перетворень та значно знизити обчислювальне навантаження. Застосування способу представлення інтенсивності за допомогою полінома високого ступеня на стадії прогнозування є недоцільним одразу з декількох причин. Перша причина полягає в тому, що хоча такий спосіб дозволяє отримати диференційовану функцію, диференціювання якої до того ж не представляє жодних труднощів, однак при збільшенні глибини прогнозу він потребуватиме також і підвищення ступеня полінома для збереження рівня точності апроксимації залежності. А це призведе до необхідності зміни кількості параметрів прогнозуючої моделі. Однак друга причина є ще важливішою. Її суть полягає в тому, що побудова моделі, яка спрямована на прогнозування параметрів полінома кінцевого ступеня, апріорі ставить нейронну мережу у жорсткі рамки. Тобто такий підхід не дозволить використати в повній мірі ті можливості, які надають нейронні мережі сучасних архітектур. Це твердження в першу чергу стосується саме нейронних мереж, що

відносяться до напрямку «глибинного навчання». Адже саме ці мережі здатні відшукувати приховані глибинні залежності у масивах даних, які навіть після їх отримання не завжди можуть бути проаналізовані людиною, навіть якщо ця людина є фаховим профільним науковцем. Таким чином, до способу представлення функції інтенсивності для застосування в прогнозній моделі на основі сучасної нейронної мережі можна сформулювати низку вимог. По-перше: даний спосіб повинен дозволити диференціювання функції за допомогою простої процедури. По-друге: точність представлення функції не повинна залежати від тривалості часового інтервалу, також метод повинен дозволити представляти як залежності, що відповідають високим рівням інтенсивності так і ті, що представляють потоки рідких подій. І головне: даний спосіб не повинен створювати штучних обмежень і дозволити послідовно обробляти історичні дані, тобто оперувати ними у той же спосіб що і часовими рядами.

На рисунку 3.2 наведена схема представлення інтенсивності випадкового потоку як функції від часу за допомогою числової послідовності.

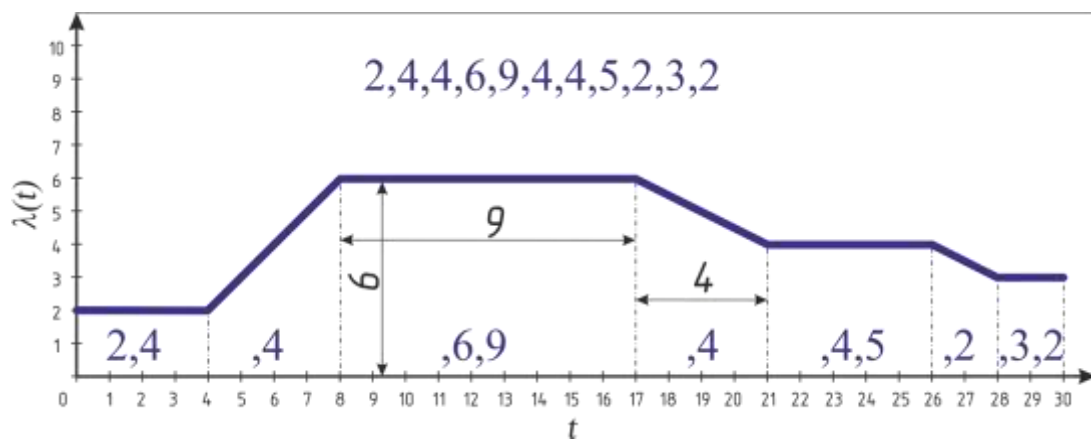


Рисунок 3.2 – Схема кодування функції інтенсивності випадкового потоку у вигляді числової послідовності

Згідно до даної схеми функцію інтенсивності можна представити за допомогою числової послідовності. Крива залежності апроксимується ломаною лінією, яка має горизонтальні ділянки, що відповідають сталим рівням інтенсивності, та похилі ділянки, що відповідають перехідним режимам при переході від одного сталого рівня до іншого. Таким чином, функція кодується набором даних у якому послідовно розміщені числа, що визначають сталий рівень інтенсивності, його тривалість та тривалість перехідного періоду, що слідує за ним. Такі трійки чисел можуть повторюватися безкінечно довго, як показано на рисунку. До того ж такий спосіб кодування є компактним, адже для представлення, наприклад, ділянки, що відповідає сталому рівню інтенсивності або часового інтервалу, на якому взагалі відсутні події, він дозволяє витратити всього одне число послідовності незалежно від тривалості даного інтервалу.

3.3 Принципи функціонування прогнозної моделі із використанням нейронних мереж на основі архітектури довгої короткострокової пам'яті

Мережі LSTM мають достатньо складний устрій. Головний компонент нейронних мереж довгої короткострокової пам'яті – не окремий нейрон або шар нейронів, а комірки пам'яті, які включають різні компоненти, до яких в тому числі входять і нейрони різних типів.

Важливою деталлю мережі архітектури LSTM є конвеєр основного потоку 1 (рис. 3.3.), який ще можна назвати конвеєром пам'яті. Він представляє собою комірку пам'яті, будь який елемент якої може бути видалений або змінений на будь якому ітераційному кроці навчання, або роботи мережі, а може зберігати своє значення протягом тривалого часу. Одночасно з цим, цей конвеєр представляє собою один з двох каналів проходження сигналів, які транслюються від однієї комірки до іншої або від одного ітераційного кроку до іншого, відчуваючи мінімальний рівень взаємодії зі структурами комірки. Сигнал, який зберігає і передає даний конвеєр має назву «стан комірки» (англ.

cell state). Саме він дозволяє мережі зберігати протягом практично необмеженого періоду часу інформацію про попередні елементи числової послідовності даних та стани мережі.

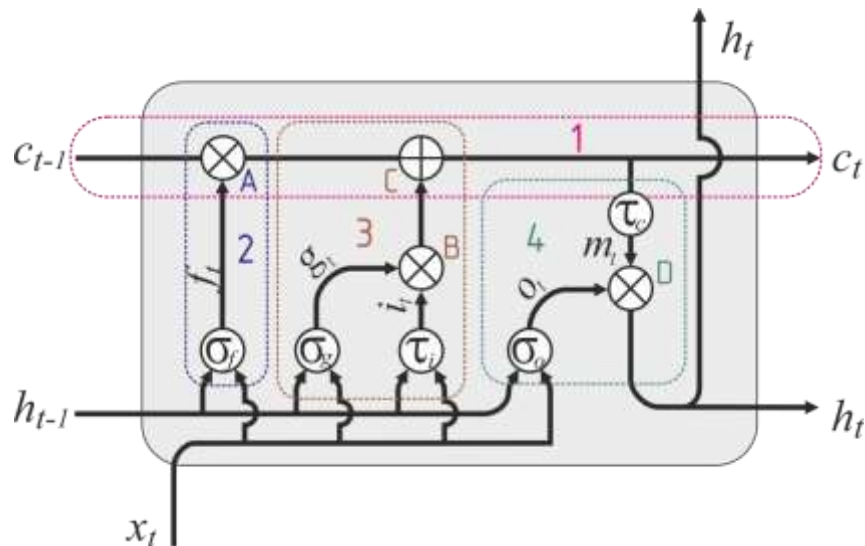


Рисунок 3.3 – Схема функціонування комірки нейронної мережі архітектури LSTM

Важливими елементами комірки, які забезпечують її здатність діяти у якості блоку пам'яті та виявляти довгострокові залежності в потоці даних є шлюзи.

Шлюзи є своєрідними самокерованими фільтрами, які приймають рішення щодо можливості та обсягів допуску інформації для її потрапляння на конвеєр пам'яті (англ. cell state) або канал основного сигналу, який називається прихованим (англ. hidden state). Прихованим цей сигнал називається тому, що крім того, що він передається між комірками, він зазвичай також транслюється до нейронів так званого «прихованого» шару мережі. Таким чином, даний сигнал є основним вихідним сигналом тієї частини загальної нейронної мережі, яка складається з LSTM комірок. Фактично цей сигнал також є сигналом, який передає інформацію про пам'ять мережі, але короткострокову.

Першим шлюзом на шляху просування сигналів «cell state» та «hidden state» є так званий «шлюз забування» (англ. forget gate), який позначений номером 2 на рис. 3.3. Окрім нейрона (позначений літерою f), який виконує роль вентиля, «шлюз забування» містить арифметичний елемент, який реалізовує операцію поелементного добутку. Нейрон, обробляє та агрегує сигнали, які отримує по двох своїх вхідних каналах. Перший вхід представляє собою елемент поточного вектора даних, який подається на вхід нейронної мережі. Другий вхід представляє собою поточне значення основного сигналу «hidden state». Таким чином, в залежності від цих двох входів нейрон шлюзу видає на виході вектор значень в діапазоні від 0 до 1. Ті елементи вектора, значення, яких є близькими до 0, за допомогою арифметичного елемента можуть нівелювати відповідні елементи поточного вектора конвеєра довгострокової пам'яті. Ця операція й асоціюється з процесом забуття.

Другим шлюзом є так званий «вхідний шлюз» (англ. input gate), який позначений номером 3 на рис. 3.3. Даний шлюз у своєму складі має два нейрони, один з яких є модулюючим, а другий – вентиляльний, та два арифметичних елемента. На входи модулюючого і вентиляльного нейронів надходять ті ж самі сигнали, що подавались на входи «шлюзу забуття». Модулюючий нейрон має функцію активації у вигляді гіперболічного тангенса, яка дозволяє йому агрегувати вхідні сигнали, модулюючи їх в діапазоні $[-1,1]$. Ці модульовані вектори представляють собою інформацію, яка потенційно може бути додана до інформації, яка зберігається у довгостроковій пам'яті комірки (cell state). Вентильний нейрон, обробляючи ті самі вхідні сигнали, вирішує наскільки є цінною та інформація, яку вони транслують, з точки зору її довготермінового зберігання, генеруючи вектор ваг із значеннями у діапазоні $[0,1]$. Арифметичний елемент виконує операцію поелементного множення векторів, що були сгенеровані нейронами «вхідного шлюзу», далі цей модульований вхідний сигнал додається до довгострокової пам'яті комірки за

допомогою арифметичного елемента, який виконує операцію поелементного додавання.

Третій шлюз позначений номером 4 на рис. 3.3., він називається «вихідним шлюзом». Цей шлюз також містить модулюючий та вентиляльний нейрони, а також арифметичний елемент. Вентильний нейрон, аналізуючи ті самі сигнали, що подавались на попередні шлюзи, формує вектор ваг, який поелементно відображає ступінь корисності інформації, яка зберігається у елементі довгострокової пам'яті, з точки зору можливості її транслявання по каналу короткострокової пам'яті та видачі на вихідний канал мережі. Скопійована з елемента довгострокової пам'яті інформація модулюється за допомогою модулюючого нейрону, який має функцію активації у вигляді гіперболічного тангенса. Далі ця інформація фільтрується арифметичним елементом за допомогою вектора ваг, що були сгенеровані вентиляльним нейроном, який виконує операцію поелементного добутку.

Шлюзи приймають участь у процесі навчання, в результаті якого їх параметри змінюються.

В ході навчання нейрони, які входять до складу шлюзів комірок, можуть змінювати параметри функціонування за допомогою налаштування наступних векторів [112]

$$W = \begin{bmatrix} W_i \\ W_f \\ W_g \\ W_o \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} R_i \\ R_f \\ R_g \\ R_o \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} b_i \\ b_f \\ b_g \\ b_o \end{bmatrix}, \quad (3.1)$$

де W та R – ваги вхідних та рекурентних зв'язків; b – порогові значення функцій активації нейронів.

Вихідні сигнали вентиляльних та модулюючих нейронів (рис. 3.3.) можна представити наступними залежностями:

$$\begin{aligned}
i_t &= \tau_i (W_i x_t + R_i h_{t-1} + b_i) \\
f_t &= \sigma_f (W_f x_t + R_f h_{t-1} + b_f) \\
g_t &= \sigma_g (W_g x_t + R_g h_{t-1} + b_g) \\
o_t &= \sigma_o (W_o x_t + R_o h_{t-1} + b_o) \quad , \\
m_t &= \tau_c (c_t)
\end{aligned} \tag{3.2}$$

де x_t – вектор даних, що подається у момент часу t на вхід нейронної мережі; h_{t-1} – поточне значення основного сигналу «hidden state» на ітераційному кроці, що передує моменту часу t ; c_t – поточне значення основного сигналу «cell state» на ітераційному кроці, що відповідає моменту часу t ; $\sigma_f, \sigma_g, \sigma_o$ – функції активації вентиляльних нейронів шлюзу забування, вхідного та вихідного шлюзів відповідно, які базуються на сигмоїдальній логістичній функції; τ_i, τ_c – функції активації модулюючих нейронів вхідного та вихідного шлюзів, які базуються на функції гіперболічного тангенсу.

Вихідний сигнал основного потоку на кроці ітерації, що відповідає моменту часу t можна обчислити за наступною формулою

$$c_t = f_t \otimes c_{t-1} + i_t \otimes g_t, \tag{3.3}$$

де \otimes – добуток Адамара, який відповідає поелементному множенню векторів.

Вихідний сигнал прихованого стану формується наступним чином

$$h_t = o_t \otimes m_t, \tag{3.4}$$

де τ_c – функція активації стану основного потоку на основі функції гіперболічного тангенсу.

3.4 Проведення моделювання та аналіз отриманого прогнозу

Для прогнозування функції інтенсивності контейнеропотоків в середовищі Matlab була реалізована прогнозна модель на основі рекурентної нейронної мережі. Архітектура моделі наведена на рисунку 3.4.

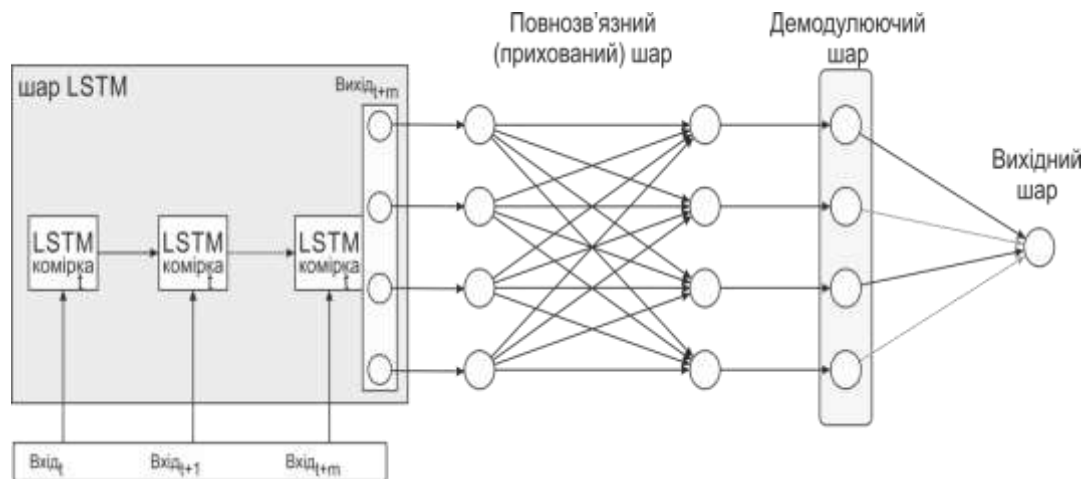


Рисунок 3.4 – Архітектура моделі на основі рекурентної нейронної мережі для здійснення прогнозу інтенсивності потоку надходження контейнерів

Нейронна мережа складається з 40 комірок у шарі LSTM, 80 нейронів у повнозв'язному шарі та 20 нейронів у демодулюючому шарі. На рис. 3.5 наведена динаміка швидкості навчання побудованої нейронної мережі. Мережа налаштована таким чином, що в процесі навчання цей параметр налаштовується до рівня 0,0005, що відповідає високому рівню точності моделі. Але у той же час таке значення параметра значно уповільнює процес навчання.

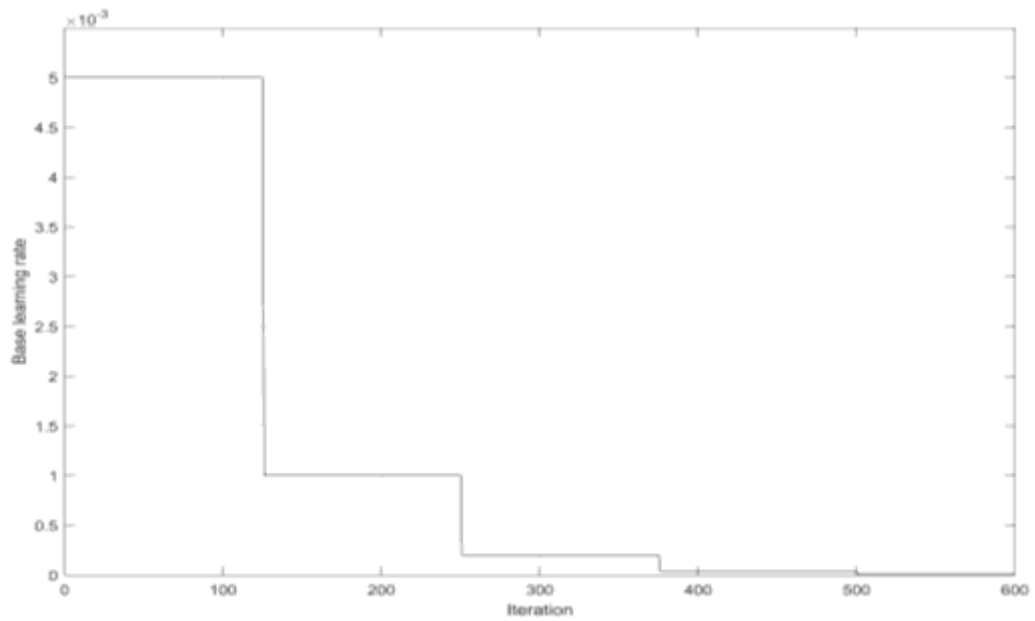


Рисунок 3.5 – Динаміка швидкості навчання побудованої нейронної мережі

На рисунку 3.6 наведена динаміка середньоквадратичної похибки навчання (англ. root mean square error, RMSE).

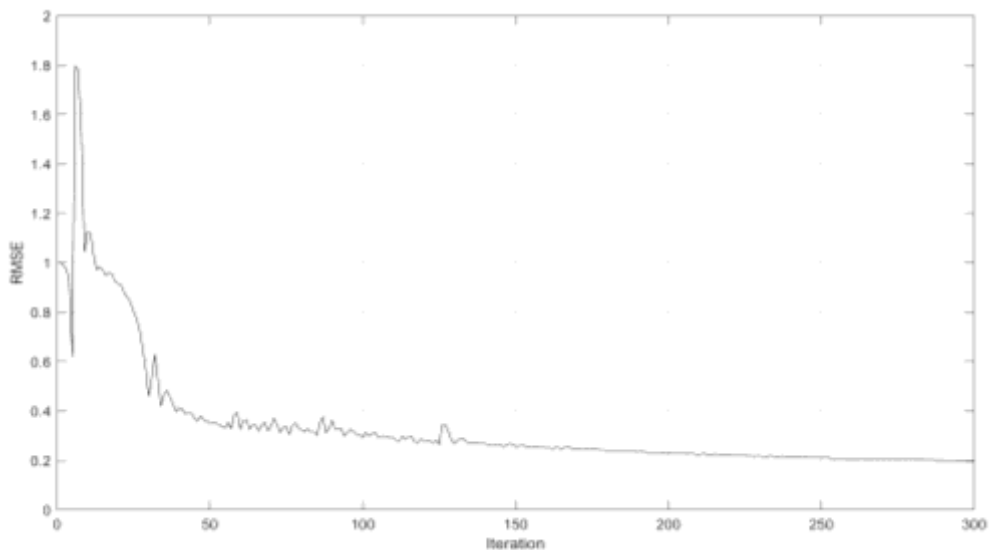


Рисунок 3.6 – Динаміка середньоквадратичної похибки навчання мережі

На рисунку 3.7 наведена динаміка точності моделі в процесі навчання нейронної мережі, яка обчислювалась за допомогою порівняння прогнозних і фактичних даних. Із графіка видно, що навіть при такій малій величині швидкості навчання точність виводу нейронної мережі перевищує 90% вже на 500-й ітерації.

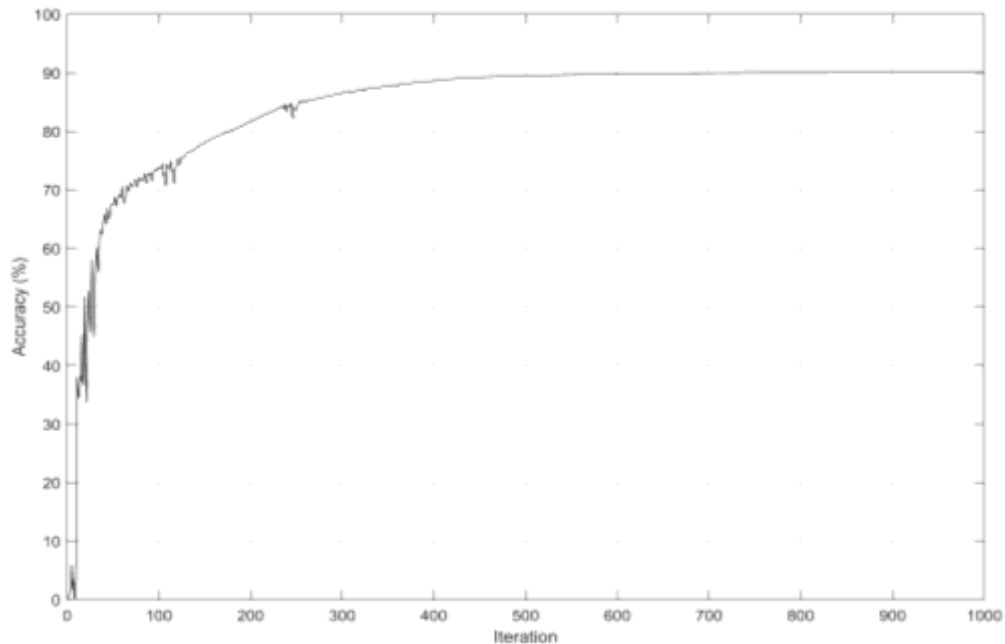


Рисунок 3.7 – Динаміка середньоквадратичної похибки навчання мережі

Для навчання мережі використана числова послідовність, яка була отримана на основі даних часового ряду надходження контейнерів на одну з термінальних станцій Сінгапуру у 2016 році.

На рисунку 3.8 наведений фрагмент послідовності, який відповідає фактичній інтенсивності прибуття контейнерів та результат прогнозу, який був отриманий за допомогою побудованої нейронної мережі.

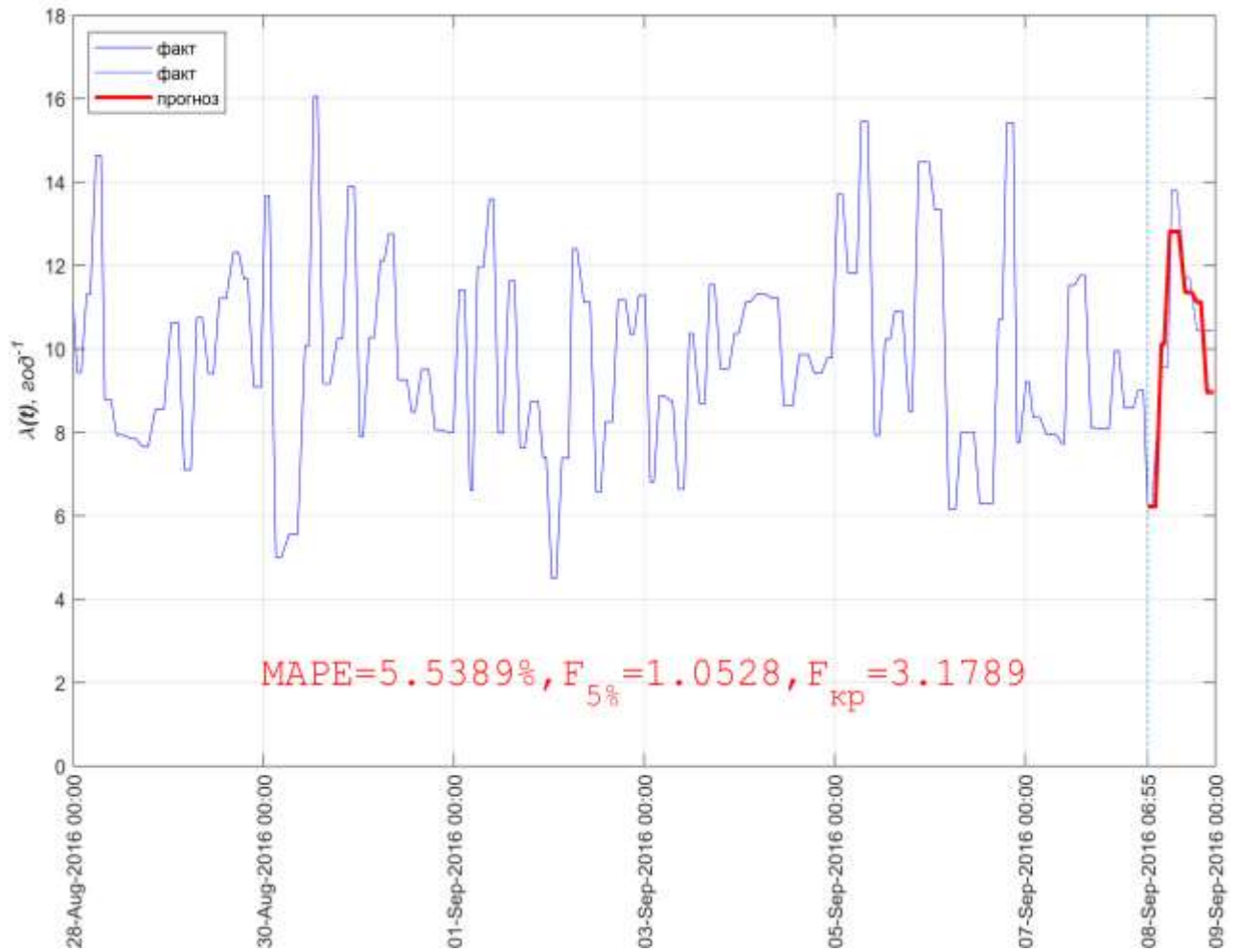


Рисунок 3.8 – Фактична і прогнозна інтенсивності потоку надходження контейнерів до термінальної станції

Для детального порівняння на рисунку 3.9. наведена фактична і прогнозна інтенсивності потоку на часовому інтервалі, що відповідає горизонту планування.

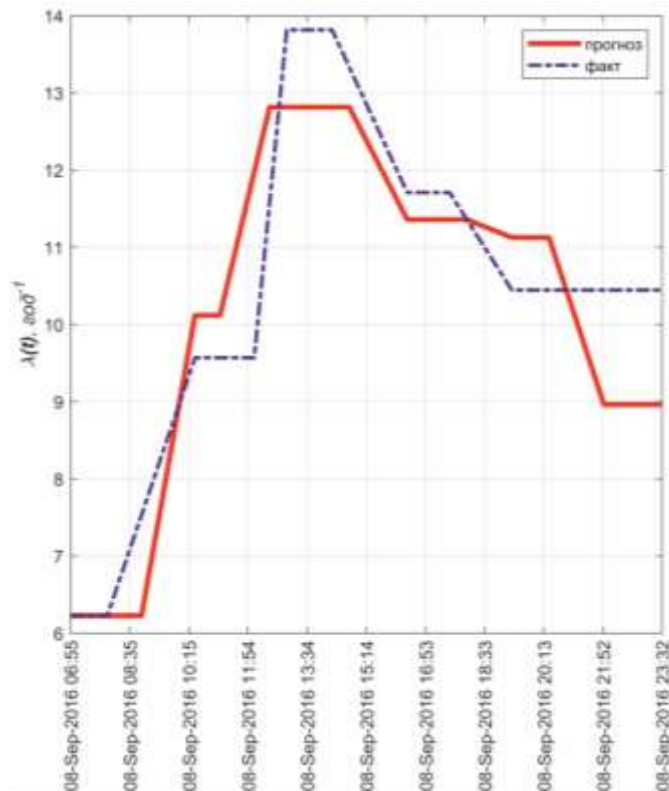


Рисунок 3.9 – Фактична і прогнозна інтенсивності потоку надходження контейнерів до термінальної станції на часовому інтервалі, що відповідає горизонту планування

Запропонований вище спосіб відтворення функції інтенсивності, який використовувався для кодування і інтерпретації даних фактичної інтенсивності та прогнозної залежності, є зручним в умовах необхідності кодування параметрів розріджених потоків та пошуку залежностей віддалених у часі подій. Однак, такий підхід не дозволяє безпосередньо зіставити дані часового ряду із певними рівномірно розподіленими точками на часовій осі. З іншої точки зору для вирішення задачі управління процесом накопичення контейнерів першочерговий інтерес представляє не безпосередній вигляд залежності функції інтенсивності потоку, а інтегральна функція від неї. За таких умов порівняння елементів площин під графіками прогнозної і фактичної інтенсивностей, які відповідають рівним проміжкам на часовій осі, буде більш

точним. Графіки фактичної та прогнозованої інтенсивностей зі вказаними значеннями площин сегментів наведені на рисунках 3.10.а і 3.10.б відповідно.

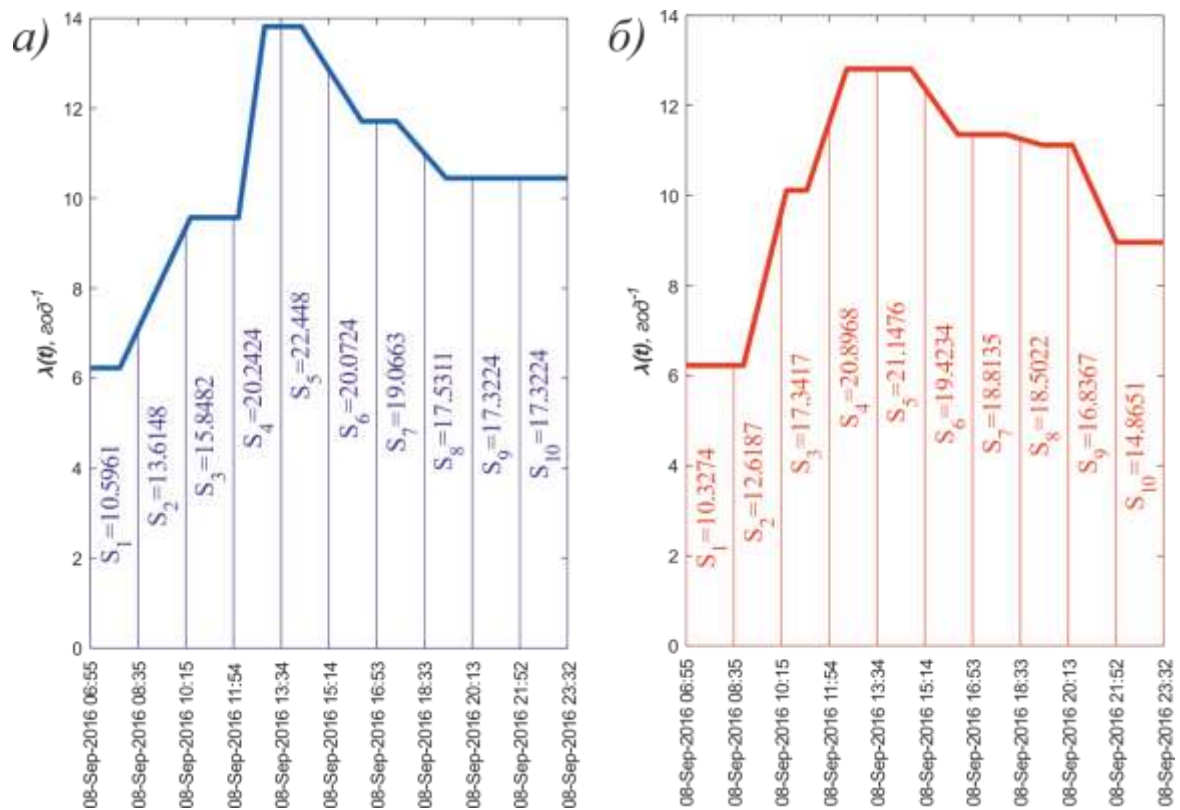


Рисунок 3.10 – Графіки фактичної - а) і прогнозованої - б) інтенсивності потоку із зазначеними величинами площин, які відповідають кількості подій потоку за рівні інтервали часу

Таким чином, кожен елемент площини під частиною графіка, який відповідає одному з десяти рівних часових інтервалів на вісі часу, представляє інтеграл від функції інтенсивності, який дорівнює кількості подій, що відбудуться протягом даного інтервалу. Графіки, що представляють чисельності подій за рівні часові інтервали, які відповідають фактичній і прогнозній інтенсивностям потоку надходження контейнерів, а також різниця між ними наведені на рис. 3.11.

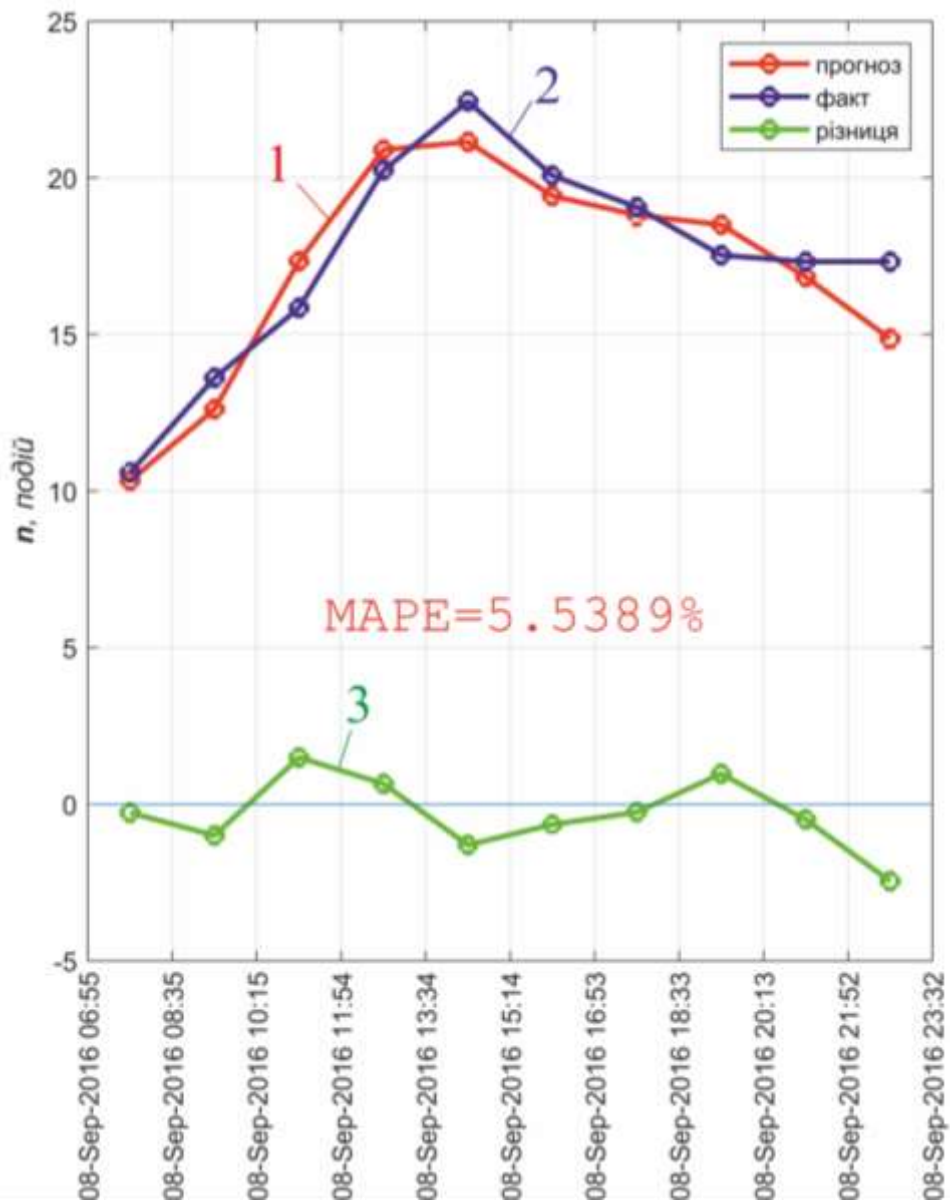


Рисунок 3.11 – Чисельність подій, які припадають на рівні часові інтервали, яка відповідає функції отриманої прогнозової інтенсивності (1); фактичної інтенсивності (2); та різниця між ними (3)

Ці дані також зведені у таблицю 3.1, у якій також наведені результати розрахунку середньої абсолютної відсоткової похибки (англ. mean absolute percentage error, MAPE). Слід зазначити, що саме такий підхід, який оцінює сегменти площин, знімає обмеження на застосування показника MAPE, яке полягає у неможливості його застосування у разі наявності нульових елементів ряду. За результатами розрахунків цей показник не перевищує 6%. З

урахуванням того факту, що характер прогнозової залежності якісно співпадає з залежністю, яка відповідає фактичним даним. Також у таблиці наведені дисперсії зазначених вибірок даних, які використані для розрахунку величини критерію Фішера. Значення критерію Фішера, наведене в таблиці, не перевищує критичної величини даного критерію, для заданих величин ступенів свободи, що свідчить про адекватність розробленої прогнозової моделі. Таким чином, результати розрахунку підтверджують високий рівень точності розробленої прогнозової моделі.

Таблиця 3.1– Чисельність подій згідно прогнозу та фактичні, різниця між ними та результати розрахунків показників

№ інтервалу	Кількість подій згідно прогнозу	Кількість подій фактично	Абсолютна різниця	Відносна різниця, %
1	10,3274	10,5961	-0,2687	-2,5357
2	12,6187	13,6148	-0,9961	-7,31606
3	17,3417	15,8482	1,4935	9,423484
4	20,8968	20,2424	0,6544	3,23257
5	21,1476	22,4480	-1,3004	-5,79306
6	19,4234	20,0724	-0,6490	-3,23342
7	18,8135	19,0663	-0,2529	-1,32626
8	18,5022	17,5311	0,9711	5,539139
9	16,8367	17,3224	-0,4857	-2,80399
10	14,8651	17,3224	-2,4573	-14,1855
σ^2	12,4629	11,8376	1,33701	45,4063
$F_{5\%}$	1,0528			
$F_{кр}$	3,1789			
MAPE	5,5389 %			

3.5 Обробка вихідних даних оптимізаційної моделі та моделювання параметрів потоків надходження контейнерів

Вихідними даними також є прогнози функції інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із крайностями від 1 до

3 до термінальної станції А на 24-годинний період. Дані функції, що представлені у формі, яка була запропонована вище (рис. 3.2.), наведені на рисунку 3.12.

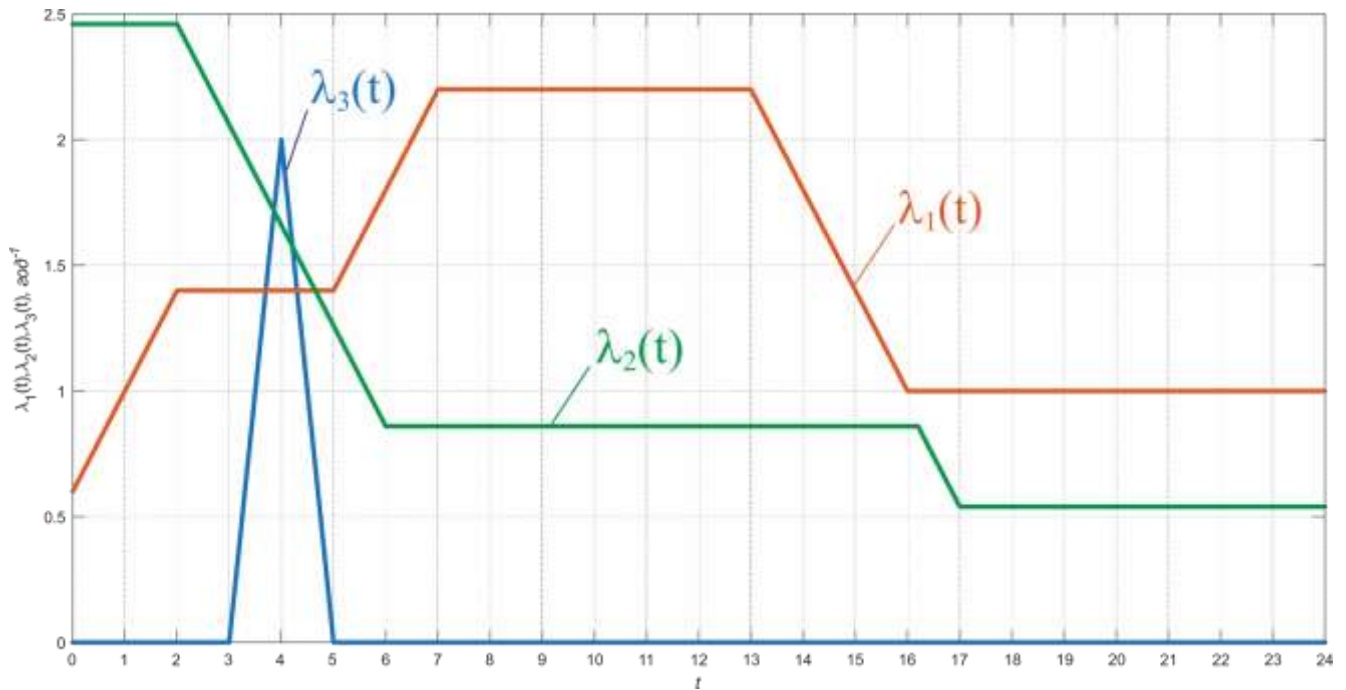


Рисунок 3.12 – Функції інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із кратностями від 1 до 3

Дані функції представлені ломаними лініями. Для аналітичного представлення подібних залежностей зазвичай застосовують параметричний спосіб представлення функцій. Однак при такій формі запису виникають значні незручності як при визначенні залежностей автоматизованим способом, тобто в ході виконання програми, так і при визначенні та обчисленні інтегралів від них, що є критично важливим при вирішенні оптимізаційної задачі.

З цією метою була застосована компактна форма запису за допомогою використання функції модулю. Таким чином даний прийом дозволяє уникнути параметричної форми представлення функцій, необхідності інтегрування по частинах, а також отримання кумулятивних функцій інтенсивності в аналітичному вигляді, що є вкрай важливим. Отримані функції інтенсивності є

інтегрованими на всій області визначення. Отже такий підхід дозволяє отримати представлення функцій інтенсивностей та кумулятивні функції інтенсивностей у компактному вигляді, але в першу чергу надає можливість автоматизувати та уніфікувати процес їх обчислення.

Аналітичний вигляд функцій інтенсивностей та кумулятивних функцій інтенсивностей складових потоків, що наведені на рис. 3.12., представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Функції інтенсивностей та кумулятивних інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із крайностями від 1 до 3 в аналітичному вигляді

кратність потоку	функція інтенсивності потоку	кумулятивна функція інтенсивності потоку
1	$\lambda_1(t) = 0,2(x - x - 2 + x - 5 - x - 7 - x - 13 + x - 16) + 0,8$	$\Lambda_1(t) = 0,1(x^2 + 8x - x - 2 (x - 2) + x - 5 (x - 5) - x - 7 (x - 7) - x - 13 (x - 13) + x - 16 (x - 16)) + 5,9$
2	$\lambda_2(t) = 0,2(- x - 2 + x - 6 - x - 16,2 + x - 17) + 1,5$	$\Lambda_2(t) = 0,1(- x - 2 (x - 2) + x - 6 (x - 6) - x - 16,2 (x - 16,2) + x - 17 (x - 17) + 15x) + 5,856$
3	$\lambda_3(t) = x - 3 - 2 x - 4 + x - 5 $	$\Lambda_3(t) = 0,5(x - 3 (x - 3) + x - 5 (x - 5)) - x - 4 (x - 4) + 1$

На рисунку 3.13 наведене графічне представлення кумулятивних функцій інтенсивності складових потоків, побудованих на основі отриманих аналітичних залежностей, що наведені в таблиці 3.2, яке свідчить про їх коректність.

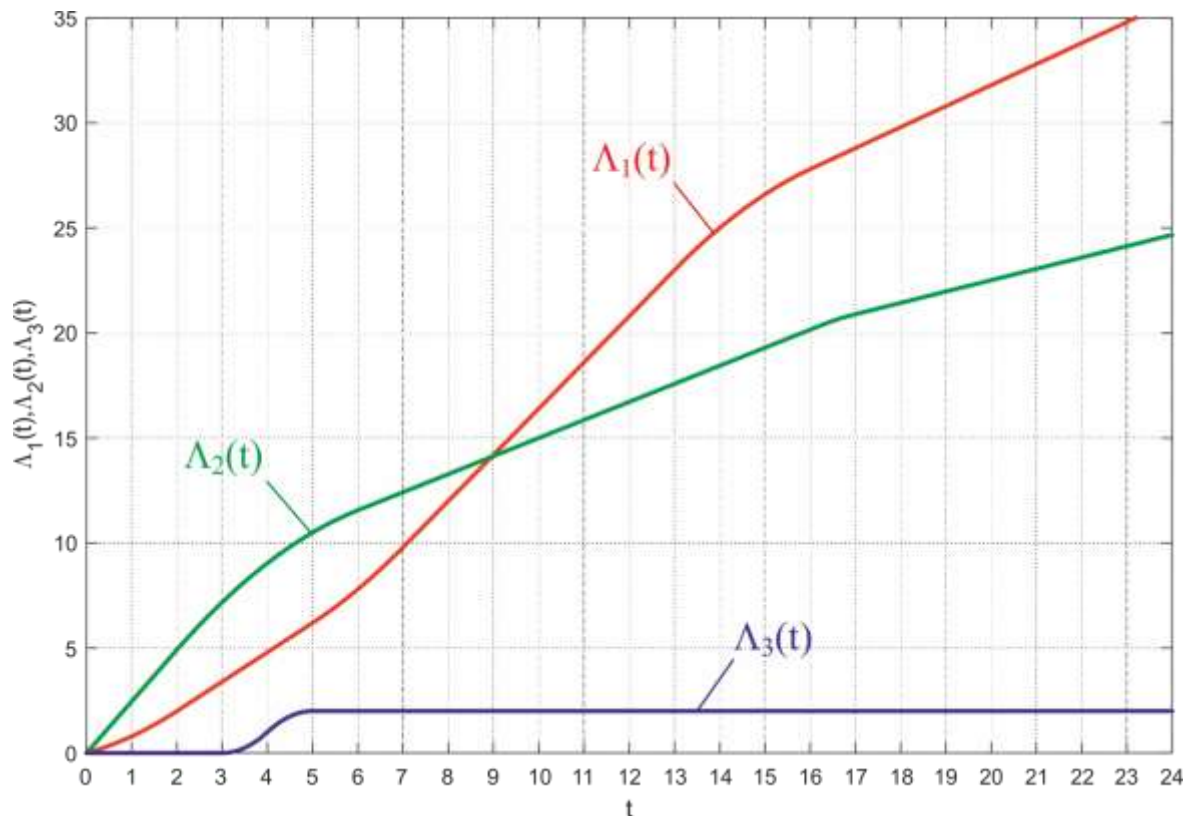


Рисунок 3.13 – Кумулятивні функції інтенсивностей складових потоків від загального потоку надходження контейнерів із кратностями від 1 до 3

Як було зазначено вище, дослідження реальних контейнеропотоків має свою специфіку по відношенню до теорії випадкових потоків. Теорія випадкових потоків ставить свою задачею відшукати залежності для загальних випадків, що є частою причиною того, що багато задач теорії залишаються невирішеними в наслідок відповідних математичних ускладнень. Як, наприклад, при дослідженні неординарних потоків необхідно виходити з припущення, що кратності потоків можуть бути будь якими великими навіть до нескінченості. Отримані формули також є справедливими для довільного числа складових потоків, однак у вирішуваній задачі максимальна кратність потоку дорівнює 3. Виходячи з цього, запис формули можна спростити і зробити його більш наочним і зрозумілим. Отже за умови того, що контейнеропотік

представлений як суперпозиція потоків з максимальною кратністю 3, формула може прийняти наступний вигляд

$$P(k, [t_0, \tau]) = 1 - \exp\left(-\int_{t_0}^{\tau} \lambda_{\Sigma}(t) dt\right) \sum_{n=0}^k \sum_{i=0}^{\lfloor \frac{n}{2} \rfloor} \sum_{j=0}^{\lfloor \frac{n-2i}{3} \rfloor} \frac{\left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_1(t) dt\right)^{n-2i-3j} \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_2(t) dt\right)^i \left(\int_{t_0}^{\tau} \lambda_3(t) dt\right)^j}{(n-2i-3j)! i! j!}, \quad (3.5)$$

де $\left\lfloor \frac{x}{y} \right\rfloor$ – означає цілу частину від ділення числа x на число y ; n – ітератор, що перебирає всі можливі розміри контейнерних партій, які не перевищують k . Даний запис надає більш наочне уявлення про комбінаторний характер процесу обчислення даної формули. Таким чином, ітератор другої суми i перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 2, які відповідають умові неперевикнення кількості контейнерів k . Ітератор третьої суми j перебирає всі можливі варіанти кількостей подій потоку кратності 3, які відповідають умові неперевикнення кількості контейнерів k з урахуванням кількості подій i потоку кратності 2. Величина $k-2i-3j$ представляє кількість подій потоку кратності 1 за тієї ж умови, та обчислюється за залишковим принципом.

На рисунку 3.14 наведена залежність імовірності накопичення щонайменше n контейнерів від кількості контейнерів та тривалості часового інтервалу.

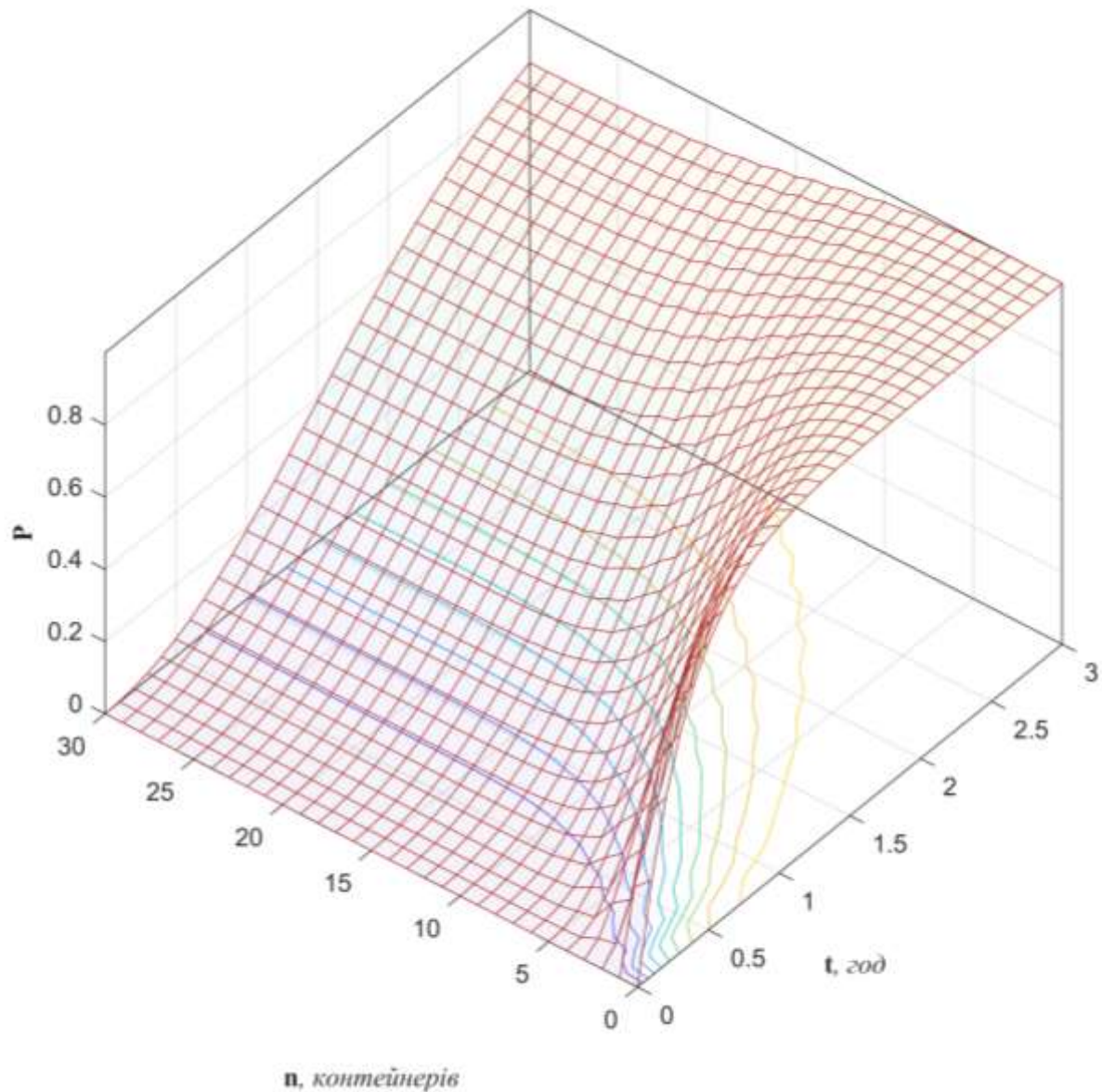


Рисунок 3.14 – Залежність імовірності накопичення щонайменше n контейнерів від кількості контейнерів та тривалості часового інтервалу

На рисунку 3.15 наведена номограма кривих, що представляють значення функціоналу W , що повертає кількість контейнерів, яка може бути накопичена на термінальній станції з певною імовірністю протягом певного часового інтервалу в залежності від функцій інтенсивності складових потоків.

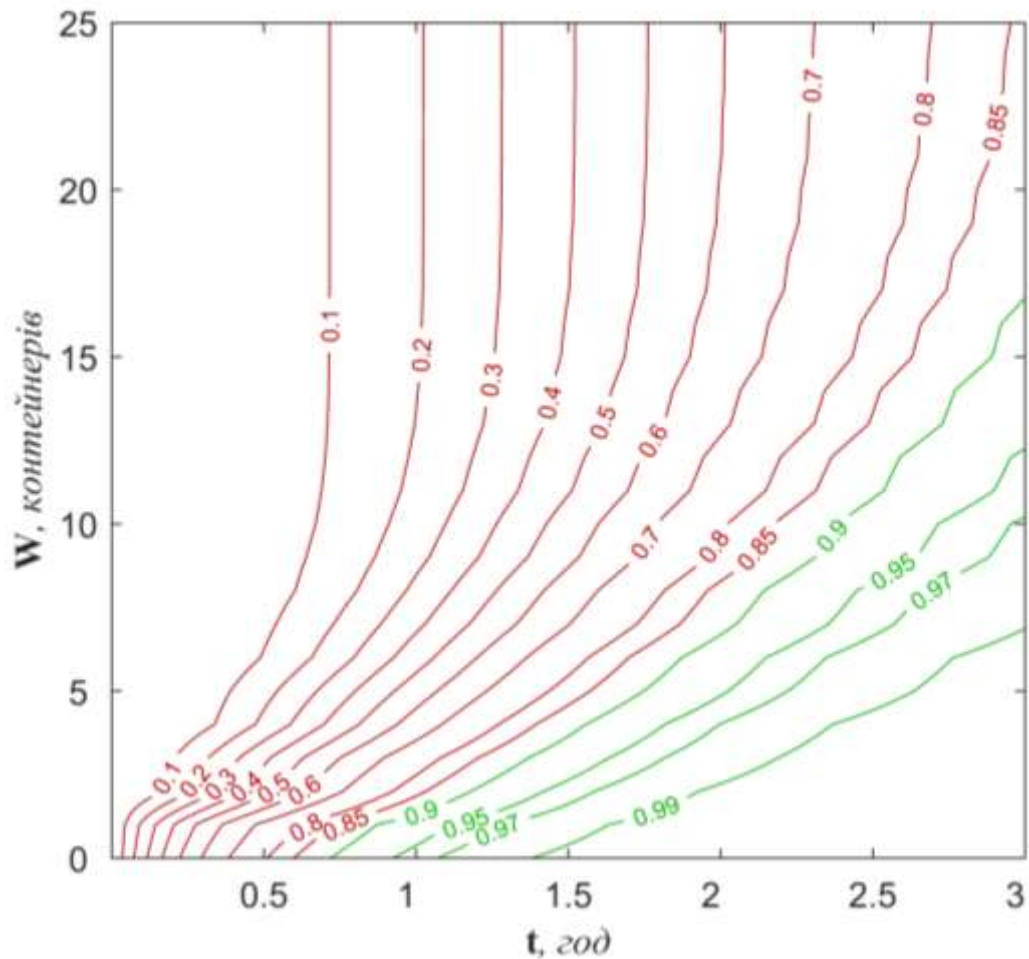


Рисунок 3.15 – Номограма кривих, що представляють значення функціоналу W , що повертає кількість контейнерів, яка може бути накопичена на термінальній станції А з певною імовірністю протягом певного часового інтервалу в залежності від функцій інтенсивності складових потоків

3. 6 Вибір методу оптимізації моделі

Хоча в даній задачі розглядається система інтермодальних перевезень, яка містить лише 2 термінальні залізничні станції, реальні системи можуть налічувати набагато більше таких станцій, які одночасно відправляють контейнерні партії для завантаження одного й того ж судна, адже кількість надвеликих контейнеровозів, місткість яких перевищує 20000 TEU, постійно

збільшується. Таким чином, виходячи з того, що середній склад вантажного поїзда складає 50~60 вагонів, для завантаження лише одного такого контейнеровозу потрібно більше 200 залізничних составів. За таких умов задача може представляти значну обчислювальну складність. До того ж цільова функція може мати значну кількість локальних мінімумів, що робить неможливим використання певних класів алгоритмів для її оптимізації, зокрема алгоритмів, що побудовані, наприклад, на основі методу градієнтного спуску. Ще однією особливістю даної задачі є те, що при її вирішенні виникає необхідність виконання також значних обсягів обчислень, які безпосередньо не пов'язані з варіативністю рішень, а обумовлені збільшенням множини можливих комбінацій кількостей контейнерів потоків різних кратностей внаслідок розширення горизонту планування.

Таким чином, при здійсненні вибору методу оптимізації даної моделі в першу чергу слід розглядати евристичні і стохастичні методи, які до того ж є швидкими неперевантажені зайвими обчисленнями. До методів, які відповідають зазначеним якостям в першу чергу можна віднести метод імітації відпалу (англ. *simulated annealing method*) [116]. Цей евристичний метод відноситься також і до класу стохастичних методів, адже вважається різновидом методу Монте-Карло, і який в тому числі використовується для вирішення задач комбінаторної і стохастичної оптимізації. Вагомою перевагою методу імітації відпалу є й те, що в багатьох задачах він випереджає за швидкістю такий популярний метод оптимізації, як метод генетичних алгоритмів.

Ідея методу базується на фізичних явищах, пов'язаних з фізичним процесом термічної обробки металевих виробів, який має однойменну назву. В ході процесу відпалу температуру металевих виробів спочатку підвищують до високого рівня, у цей час атоми кристалічної решітки металу мають найбільше число ступенів свободи і мають максимальні можливості для зміни свого положення у просторі з метою мінімізації енергії системи. Поступове зниження температури зменшує коливання атомів, дозволяючи їм уточнювати своє

положення більш локально. В результаті при повному охолодженні атоми приймають таке положення, яке мінімізує рівень дефектів кристалічної решітки.

На рисунку 3.16 наведений порядок виконання алгоритму імітації відпалу [117]:

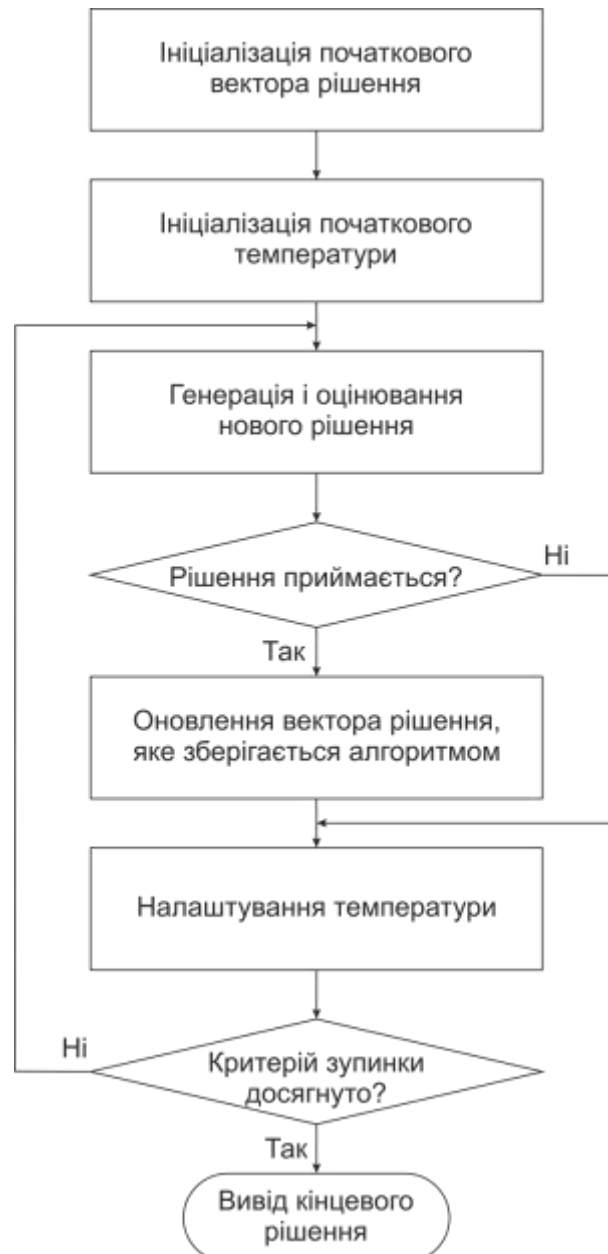


Рисунок 3.16 – Алгоритм оптимізації моделі за методом імітації відпалу

Робота алгоритму розпочинається із ініціалізації початкового вектора та рівня початкової температури. Далі генерується новий пробний випадковий вектор який відстоїть від початкового вектора на відстань, яка визначається у результаті реалізації певного закону розподілу випадкової величини, який масштабується на основі лінійної або функції квадратного кореня згідно до поточної температури. Якщо одна або декілька координат вектору порушують обмеження, які накладені на відповідні їм змінні моделі, алгоритм зміщує кожен таку координату вектора і позицію, яка обирається на основі рівномірного розподілу між відстанню до порушеної межі та значенням при попередній ітерації. Далі алгоритм на основі оцінювання цільової функції визначає – чи є новий вектор кращим за поточний. Поточний вектор замінюється новим вектором у разі якщо йому відповідає краще значення цільової функції. Однак якщо новий вектор відповідає гіршому значенню цільової функції – він все одно може бути прийнятим у якості поточного. Чи буде новий вектор прийнятим – залежить від спеціальної функції імовірності прийняття [118], яка зазвичай має наступний вигляд

$$h = \frac{1}{1 + e^{\frac{C_n - C_n}{T}}}, \quad (3.6)$$

де C_n, C_n – значення цільової функції, які відповідають новому та поточному векторам відповідно; T – поточне значення температури.

Таким чином, чим більше температура і чим менше різниця (позитивна) між новим і поточним значеннями цільової функції – тим більше імовірність прийняття гіршого вектора у якості поточного. Новий вектор приймається якщо випадково сгенероване число в інтервалі $[0,1]$ виявляється меншим за поточне значення функції h .

В ході виконання алгоритму температура постійно знижується. Це зазвичай відбувається згідно до функції [119]

$$T = \frac{T_0}{\ln(k)}, \quad (3.7)$$

де T_0 – початкова температура, а k – параметр відпалу.

Для запобігання потрапляння алгоритму до локального оптимуму, передбачена функція повторного відпалу (англ. *reannealing*). Ця функція виконує підняття температури або після того, як алгоритм виконає певну кількість ітерацій. Це відбувається за рахунок зменшення параметра відпалу k до величини, яка є нижчою за число e . При цьому рівень цього зменшення пропорційний величині, яка є відношенням максимального поточного градієнту цільової функції до середнього поточного значення градієнтів по всіх розмінностях вектора. Дія алгоритму припиняється за умови досягнення хоча б одного з критеріїв зупинки, наприклад, досягнення середньої зміни цільової функції значення, яке нижче заданого.

3.7 Оптимізація моделі

На основі сформованої моделі був розроблений програмний продукт у середовищі Matlab. Досліджуваний полігон представляє собою 2 маршрути доставки контейнерів на одне судно (рис. 2.1). На кожному маршруті розташована термінальна вантажна станція та сортувальна станція, обидва маршрути проходять через одну припортову станцію і завершуються на території морського порту. У якості механізму оптимізації стохастичної моделі був використаний математичний апарат симуляції відпалу. На рис. 3.17 наведена динаміка зміни цільової функції в процесі оптимізації моделі

організації транспортування контейнерів залізницею при здійсненні інтермодальних перевезень методом імітації відпалу.

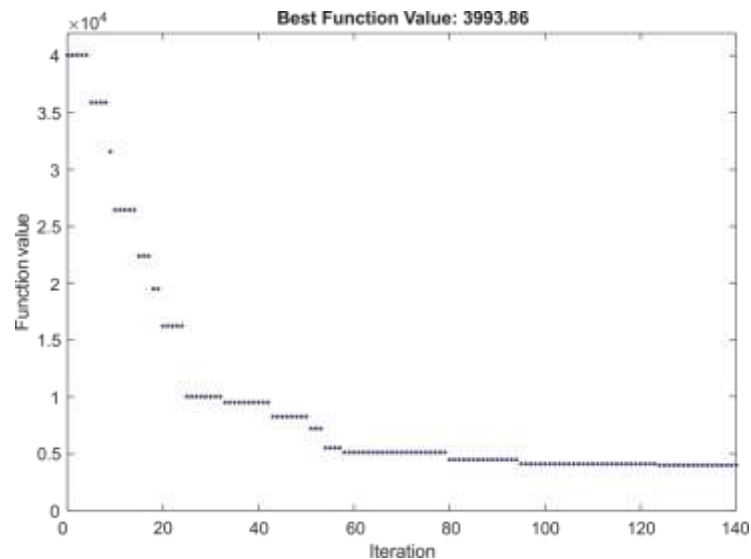


Рисунок 3.17 – Динаміка зміни цільової функції в процесі оптимізації моделі методом імітації відпалу.

Ця динаміка демонструє швидку збіжність алгоритму. На рисунку 3.18 наведена залежність питомих витрат, що припадають на транспортування одного контейнера залізницею до морського порту, від часів завершення накопичення партій контейнерів на двох термінальних станціях.

Наявність мінімуму цільової функції, який відповідає прийнятному рівню витрат додатково свідчить про адекватність моделі. Його величина дорівнює 3993,86 грн, і є співставною з середнім питомим значенням собівартості транспортування контейнерів від термінальних станцій до морських портів в Україні. Цей мінімум досягається при значенні часів закінчення накопичення контейнерів на двох термінальних станціях у 5,52 та 8,05 годин відповідно. Як видно із отриманої залежності (рис.3.18.), ці значення часів відповідають мінімуму витрат і відділені від критичного часу часовими проміжками значної тривалості. Критичний час накопичення на обох термінальних станціях

дорівнює приблизно 15 годині від початку планового періоду, що пов'язано із включенням режиму використання судна у якості «складу на плаву».

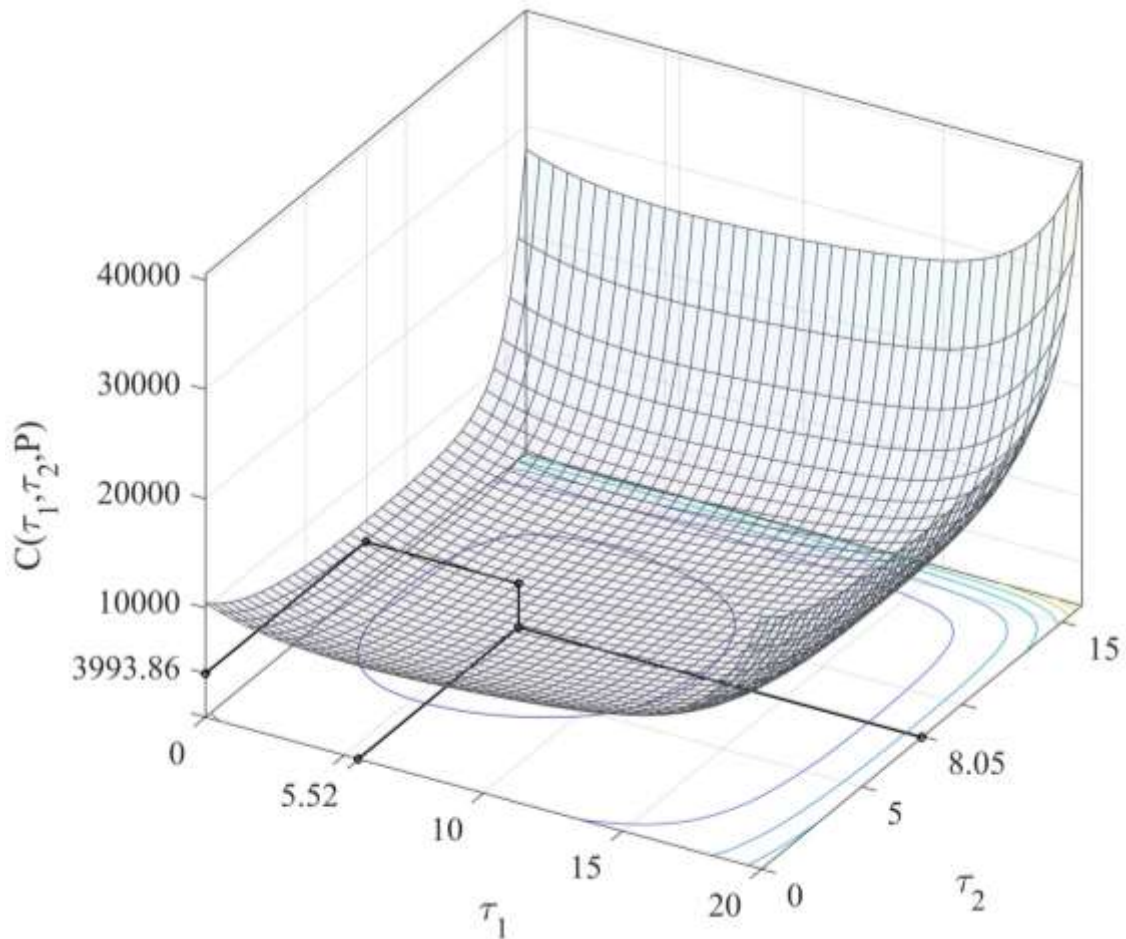


Рисунок 3.18 – Залежність питомих витрат, що припадають на транспортування одного контейнера залізницею до морського порту, від часів завершення накопичення партій контейнерів на двох термінальних станціях

Науковими дослідженнями було доведено, що найбільш небажаними недоліками у процесі планування роботи інтермодальних залізничних терміналів, що формують і відправляють контейнерні поїзди в бік портів, є ті, результатом яких є неузгодженість часів накопичення контейнерних партій та часів відправлення поїздів. Зокрема на інтермодальному залізничному терміналі Гетеборга було встановлено, що при неузгодженості тривалості цих

процесів на 20% – одразу на 20% збільшуються й експлуатаційні витрати на транспортування контейнерної партії залізницею [120,121]. Такий результат було отримано навіть без урахування можливості затримки судна або запізнення на судно, а також неузгодженості відправки контейнерних партій суміжними терміналами, що функціонують в рамках спільної системи інтермодальних перевезень. І такі недоліки є звичайним явищем, навіть якщо робочі місця оперативних керівників терміналів обладнані інформаційними системами але без спеціалізованих систем підтримки прийняття рішень (СППР) [121].

Результати досліджень рівня впливу людського фактору на якість управління у сфері залізничних перевезень також свідчать про те, що середній рівень помилок, яких припускається керівний персонал залізничних станцій при плануванні і реалізації стратегічних, тактичних та оперативних завдань незважаючи рівень інформатизації, що постійно підвищується, все одно залишається на досить високому рівні, який становить приблизно 20% [122,123].

З іншого боку теоретично доведено, що застосування математичного апарату теорії точкових процесів, для формалізації процесів, протікання яких пов'язане з випадковими потоками, замість більш загальних класичних моделей, дозволяє отримати покращення точності моделі щонайменше на 7÷10 % [124].

Надати приблизну оцінку ефективності розробленої технології можливо, оцінивши рівень підвищення експлуатаційних витрат в залежності від рівня неточності визначення часів завершення накопичення контейнерних партій на терміналах. Враховуючи можливі варіанти, що обумовлені комбінацією напрямів відхилень, підвищення ефективності, використовуючи результати оптимізації цільової функції, можна визначити за наступною формулою

$$e = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^q \frac{C(t_{1,i}, t_{2,i}) - C_{onm}}{C_{onm}} \cdot 100\% , \quad (3.8)$$

де q – кількість варіантів граничних відхилень; $t_{1,i}, t_{2,i}$ – значення аргументів цільової функції, які відповідають i -му варіанту відхилення; $C(t_{1,i}, t_{2,i})$ – значення цільової функції, що відповідає i -му варіанту відхилення.

Тоді за умови, що середнє відхилення при традиційній технології планування становить 15%, отримаємо

$$\begin{aligned} e &= \frac{1}{4} \cdot \frac{4444,4 - 3993,7}{3993,7} + \frac{4591,4 - 3993,7}{3993,7} + \frac{4571 - 3993,7}{3993,7} + \frac{4464,8 - 3993,7}{3993,7} \cdot 100\% = \\ &= \frac{10,142 + 13,018 + 12,63 + 10,553}{4} = 11,586 \%. \end{aligned}$$

Таким чином, ефективність розробленої технології полягає в першу чергу у можливості зменшення експлуатаційних витрат при здійсненні перевезень контейнерів залізничним транспортом до морського порту, яка в середньому може становити не менше ніж 10%.

Такий рівень ефективності обумовлений не лише точністю прогнозу інтенсивності контейнеропотоків, а в першу чергу створенням системного ефекту, який забезпечує визначення оптимальної комбінації параметрів процесів накопичення одночасно для декількох суміжних термінальних станцій в рамках спільної системи інтермодальних перевезень та просування залізничними шляхами контейнерних партій з урахуванням імовірнісних характеристик залізничних операцій та з одночасним забезпеченням достатнього рівня впевненості прийнятих рішень.

3.8 Висновки до розділу 3

На основі аналізу було визначено, що однією з найважливіших складових для отримання якісного рішення при вирішенні задачі організації транспортування контейнерів залізницею в умовах функціонування системи інтермодальних перевезень є наявність прогнозу інтенсивності контейнеропотоків відповідних кратностей на час планового періоду.

На основі аналізу було встановлено, що найбільш адекватний спосіб представлення даних, які відображають інформацію щодо функцій умовної інтенсивності є представлення їх у вигляді часових рядів. Розроблено оригінальну схему представлення функцій умовної інтенсивності у вигляді нерегулярних часових рядів за допомогою послідовності числових кортежів, кожен з яких складається з трьох елементів.

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. Даний результат обумовлений застосуванням у складі архітектури розробленої моделі шару з елементів довгої короткострокової пам'яті, які забезпечують можливість знаходження прихованих залежностей та зв'язків між субструктурами даних навіть якщо вони віддалені часовими інтервалами значної тривалості.

З урахуванням розробленої схеми відображення функцій умовної інтенсивності запропоноване їх представлення в аналітичному вигляді без застосування параметричної форми запису. Така форма запису із застосуванням лінійних операторів дозволяє уніфікувати формалізацію параметрів процесу надходження контейнерів до термінальних станцій у вигляді функцій

інтенсивності, а також автоматизувати процес їх інтегрування та обчислення складових цільової функції оптимізаційної моделі.

Розроблено метод тотожного перетворення запису запропонованих формул для обчислення імовірності накопичення певного обсягу контейнерних партій на термінальних залізничних станціях, який базується на реальних умовах вирішення практичних задач, що полягають у скінченності множини кратних складових потоків, і який дозволяє спростити процес автоматизації обчислень та мінімізувати їх обсяг.

У якості прикладу застосування запропонованого методу отримана формула для випадкового потоку, який складається з трьох складових потоків з кратностями від 1 до 3. В ході моделювання за допомогою даної формули були отримано значення функціоналу, який повертає мінімальну величину контейнерної партії в залежності від функцій інтенсивності, рівня імовірності та тривалості часового інтервалу. На основі побудованої поверхні отримано номограму залежності мінімальних обсягів надходження контейнерів до термінальної станції від величини горизонту планування при різних рівнях впевненості реалізації процесу.

Отримані залежності було використано в ході вирішення задачі оперативного планування процесу транспортування контейнерів залізницею до морського порту в рамках системи інтермодальних перевезень, яка включає дві термінальні залізничні станції, що працюють у синхронному режимі. З цією метою було здійснено оптимізацію моделі стохастичного програмування за допомогою алгоритму імітації відпалу. В ході оптимізації моделі було 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 повноскладового або неповноскладового маршрутного поїзда або у складі попутних вантажних поїздів із можливим подальшим переформуванням на сортувальних станціях). Контроль рівня впевненості основних складових транспортно-логістичного процесу при здійсненні оптимізації, який є невід'ємною складовою розробленої моделі, забезпечує обґрунтованість у прийнятті управлінських рішень та надійність побудованого оперативного плану в цілому.

Таким чином, сукупність розробленої математичної моделі, методу отримання вихідних даних для її оптимізації у вигляді прогнозів функцій інтенсивності контейнеропотоків та безпосередньо методу оптимізації моделі та інтерпретації його результатів у вигляді оперативного плану представляють собою технологію організації транспортування контейнерів від термінальних станцій до морського порту залізницею у складі системи інтермодальних перевезень.

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.

Таким чином, впровадження даної технології дозволить зменшити простой контейнерів і залізничного рухомого складу на залізничних станціях, а також мінімізувати кількість випадків затримки контейнеровозів у портах, що в свою чергу призведе до здешевлення і пришвидшення доставки вантажів у міжнародному сполученні.

РОЗДІЛ 4

УДОСКОНАЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧОЇ СИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОСУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ

4.1 Передумови розробки автоматизованої технології формування і просування потоків контейнерів

Одна з найбільших проблем нашого часу є забезпечення економічно ефективної стійкої мобільності перевезень вантажів і в той же час, надання привабливих пропозицій для клієнтів залізниць. Для ефективності просування транспортних потоків на залізничному транспорті в теперішній час формуються інтелектуальні системи управління, які сприяють формуванню автоматизованих технологій, а також управлінню оперативної діяльності, що забезпечують високий рівень ефективності та якості залізничних перевезень, навіть у виняткових робочих ситуаціях. Мережеві залізничні ІТ - рішення також поєднують в собі всі функції для ефективного вирішення управлінських задач.

Інтелектуальні транспортні системи (ІТС) - це великий комплекс сервісних послуг, що надаються користувачам для зручності прийняття управлінських рішень, щодо раціонального використання транспортної мережі. Розробка та впровадження таких інтелектуальних систем призведе до покращення роботи залізничного транспорту, а саме організації транспортування контейнерів залізничним транспортом до порту, та як наслідок, скорочення експлуатаційних витрат.

В якості основної інформаційної системи українських залізниць виступає Автоматизована система управління вантажними перевезеннями- єдина – АСК ВП УЗ-Є, яка містить в собі методи і технології інтелектуальних транспортних систем або їх окремих складових. [125]

На сьогоднішній день АСК ВП УЗ-Є є найбільш потужною системою із сучасних автоматизованих систем управління, яка забезпечує функції інформаційної і керуючої підтримки технологій і процесів залізничної галузі. Основними елементами такої системи є автоматизовані робочі місця (АРМи) оперативного і диспетчерського персоналу, бази даних та телекомунікаційні зв'язки для проведення оперативного управління та регулювання.

АСК ВП УЗ-Є – це інтегроване середовище для організації інформаційних технологій перевізного процесу. Вже сьогодні розроблено та впроваджено інформаційну підтримку технологічних процесів від планування, створення електронного перевізного документу, обліку навантаження, відображення роботи на під'їзних коліях, організації вагонів у поїзди на вантажних та сортувальних станціях, стеження за переміщенням вантажів до прибуття, подачі їх під вивантаження, нарахування плати за перевезення.

До складу АСК ВП УЗ-Є входять такі моделі, а саме: поїзна, контейнерна, відправочна, вагонна, локомотивна і інші. Безперервність, розподіленість транспортних процесів та їх взаємна обумовленість виражається системою логічних зв'язків між окремими моделями інформаційних баз АСК ВП УЗ-Є, організованих на основі технологій системи управління базами даних (СКБД) Oracle. [68]

Дана система вирішує такі задачі: оперативне управління перевізним процесом, управління вантажними перевезеннями, управління ремонтами і технічним обслуговуванням рухомого складу, забезпечення комерційного огляду вантажів, зберігання статистики об'ємних показників доходів від діяльності перевезення вантажів.

В рамках задачі «управління вантажними перевезеннями» забезпечуються такі функції: оперативний облік операцій з вантажними відправленнями; облік і обробка заявок на перевезення; контроль за станом розрахунків з клієнтами; оперативний контроль завантаження/розвантаження; контроль дислокації і стану вантажних відправлень; прогноз прибуття вантажів, контроль термінів доставки вантажів; формування інформації про перевізних документах.

До комплексу «оперативне управління перевізним процесом» входять такі задачі: контроль дислокації і стану поїздів, вантажних вагонів; контроль дислокації і стану локомотивів і локомотивних бригад; диспетчерське управління рухом поїздів; облік і видача попереджень; розробка графіка руху поїздів, технічних норм, плану формування, добового планування, поїздоутворення; управління станцією; контроль дислокації і стану контейнерів, контроль і облік роботи стикових пунктів доріг і залізничних адміністрацій; інформування користувачів про паспортні дані вагонів і контейнерів; контроль змін інвентарного парку вантажних вагонів; розрахунок графіка роботи локомотивних бригад; контроль змін інвентарного парку тягового рухомого складу; прикордонна система; технічне нормування.

З вищенаведеного можна зробити висновки, що дана система охоплює практично всі функції, які необхідні для стабільної і якісної роботи всіх ланок управління операційною діяльністю. Підвищення рівня конкурентоспроможності залізничного транспорту вимагає розширення кола інтелектуальних автоматизованих технологій, що сприяють зменшенню непродуктивних простоїв вантажів та впровадженню логістичних технологій зокрема при перевезенні контейнерів.

4.2 Розробка вимог до системи підтримки прийняття рішень в межах автоматизованої системи формування та просування потоків контейнерів

Для транспортування контейнерів залізницею до морських портів в системі інтермодальних перевезень з належною швидкістю доставки контейнерів залізничними шляхами до порту та синхронізацією із розкладом заходу суден із мінімальними витратами виникає необхідність створення моделі формування та просування контейнерів залізничним транспортом. Така модель повинна забезпечувати вибір правильної стратегії накопичення контейнерів на термінальних пунктах і їх відправлення у складі контейнерного

або вантажного поїзду у бік порту. Тому стає необхідним інтегрування вищезазначеної моделі та впровадження її на АРМи оперативних працівників зокрема ДСП, ДНЦОВ, ДСЦ, що будуть містити у собі СППР.

Відомо, що у час активного впровадження автоматизованих технологій більшість АРМів є інформаційно-довідковими, тобто людині, що приймає рішення надається лише інформація. Це не забезпечує прийняття найкращого рішення при управлінні, так як на нього значною мірою впливає так званий «людський фактор». Світовий досвід доводить, що сучасні АРМи мають бути інформаційно-радницькими, тобто містити у собі системи підтримки прийняття рішень (СППР). [126]

Сформована у розділах 2, 3 автоматизована інтелектуальна технологія дозволяє формалізувати в рамках єдиної моделі процеси накопичення контейнерів на термінальних станціях, формування і просування контейнерів у залізничному сполученні до морських портів в умовах функціонування системи інтермодальних перевезень. Основна задача управління процесом формування та просування контейнерних поїздів залізничними шляхами для своєчасного перевантаження на морські судна полягає у виборі стратегії накопичення контейнерів на термінальних пунктах.

Передбачається, що розроблена СППР, окрім обробки інформації про кількість накопичених контейнерів на станціях буде містити в собі інформацію із зовнішніх баз даних, а саме в формі наступних повідомлень електронного обміну даними ЕДІФАКТ ООН: CUSREP, CUSCAR, INVRPT, PAXLST, IFTDGN про розклад прибуття і відправлення суден, а також кількості місць на суднах. Після обробки всієї інформації та прогнозу надходження контейнерної партії на станцію, який виконується на основі застосування методів нейронних мереж, визначається оптимальний час завершення накопичення контейнерної партії та варіант відправки контейнерів. Далі виконуються розрахунки експлуатаційних витрат на основі запропонованої оптимізації математичної моделі та приймається рішення оператором щодо оптимальної технології формування та просування контейнерної партії у порт. СППР інтегрується до

автоматизованого робочого місця чергових по станції (АРМ ДСП), маневрового диспетчера (АРМ ДСЦ) на залізничних термінальних і припортових станціях, що підключене до Єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці.

Згідно до описаної вище автоматизованої технології управління при перевезенні контейнерів в роботі розроблена структурна схема функціонування СППР в межах АСК ВП УЗ-Є наведена на рис.4.1.

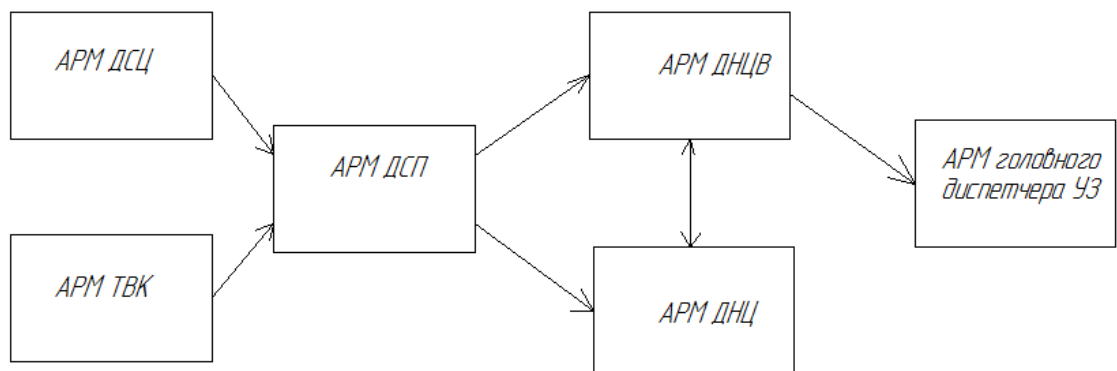


Рисунок 4.1 – Структурна схема функціонування СППР в межах АСК ВП УЗ-Є

У якості основних вимог до оновленого інтерфейсу АРМ ДСЦ необхідно врахувати наступне:

- відображення інформація про кількість накопичених контейнерів на залізничних термінальних станціях;
- відображення оптимального часу завершення накопичення контейнерів у вигляді графіку, та варіант їх відправки контейнерним, неповносоставним або вантажним поїздом;
- інформація щодо прогнозої оцінки надходження контейнерних партій на залізничні термінальні станції;
- відображення інформації щодо прибуття та відправлення суден у порту;

- наявність систем підтримки прийняття рішень (СППР) для формування підказок по виправленню збоїв, порушень і відхилень від плану формування поїздів;

- контроль виконання планів з фіксацією відхилень інтеграція всіх засобів зв'язку і сучасних технологій у рамках єдиного інтерфейсу.

Інтерфейс СППР для інтеграції в АРМ ДСЦ представлений на рисунку 4.2.

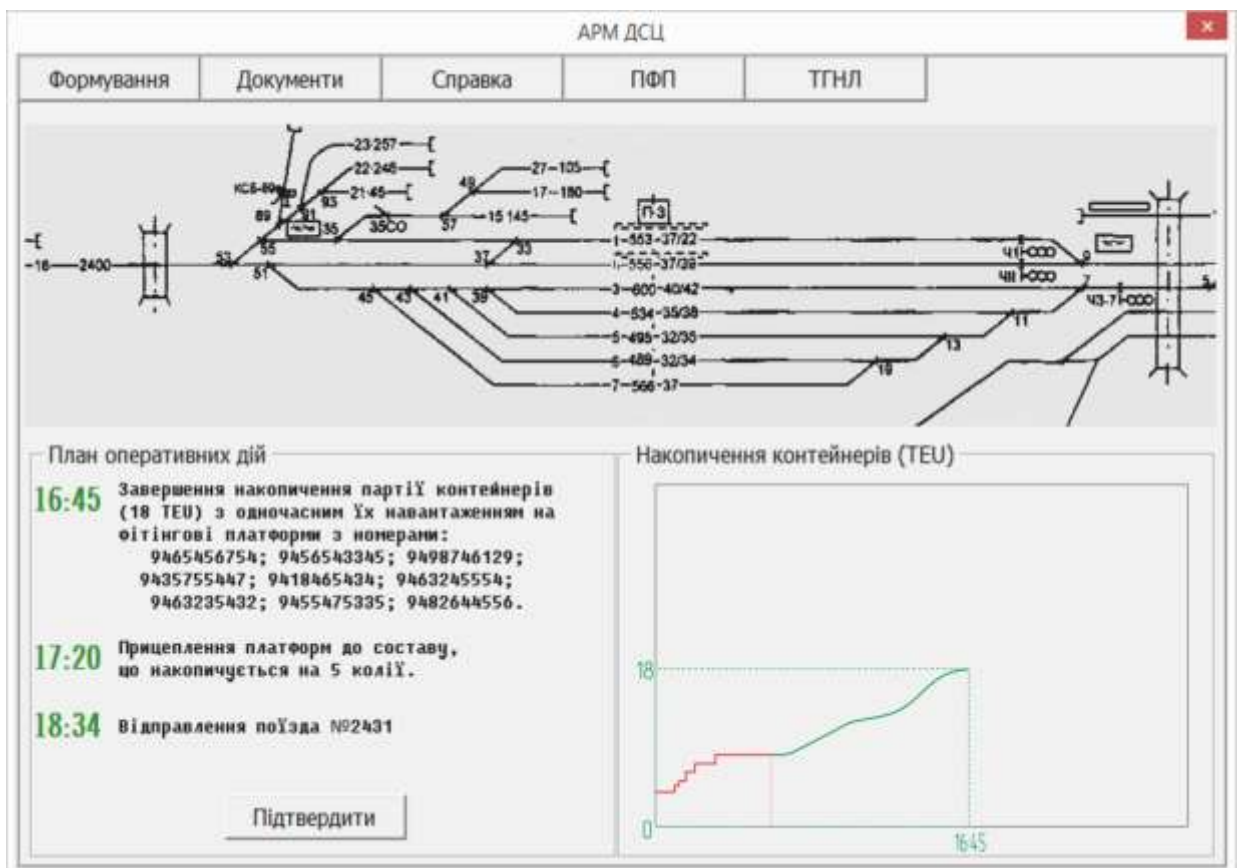


Рисунок 4.2–Вікно інтерфейсу АРМ ДСЦ, що відображає процес завершення накопичення та варіант відправки контейнерів

Вікно інтерфейсу АРМ ДСЦ відображає інформацію щодо кількості накопичених контейнерів, оптимальний час завершення накопичення партії контейнерів, данні про подальше їх навантаження на фітінгові платформи та варіант відправлення. Також програма надає прогнозну оцінку надходження контейнерних партій, що відповідає оперативному та тактичному пануванню.

Автоматизована технологія формування та просування потоків контейнерів передбачає обмін інформацією між АСК ВП УЗ-Є та оператором інтермодальних перевезень, який повинен володіти повними даними про місцезнаходження контейнерів, тривалість транспортування залізницею, тривалість накопичення в порту, час перевантаження на судно. Оператор інтермодальних перевезень підтримує зв'язок зі всіма учасниками цього складного процесу: з вантажоодержувачем, з вантажовідправником, з залізницею, з портом. Також на АРМі оператора встановлено АС Месплан для подачі заявок від вантажовідправників на транспортування контейнерів залізницею. Інтерфейс вікна оператора інтермодальних перевезень наведений на рисунку 4.3.

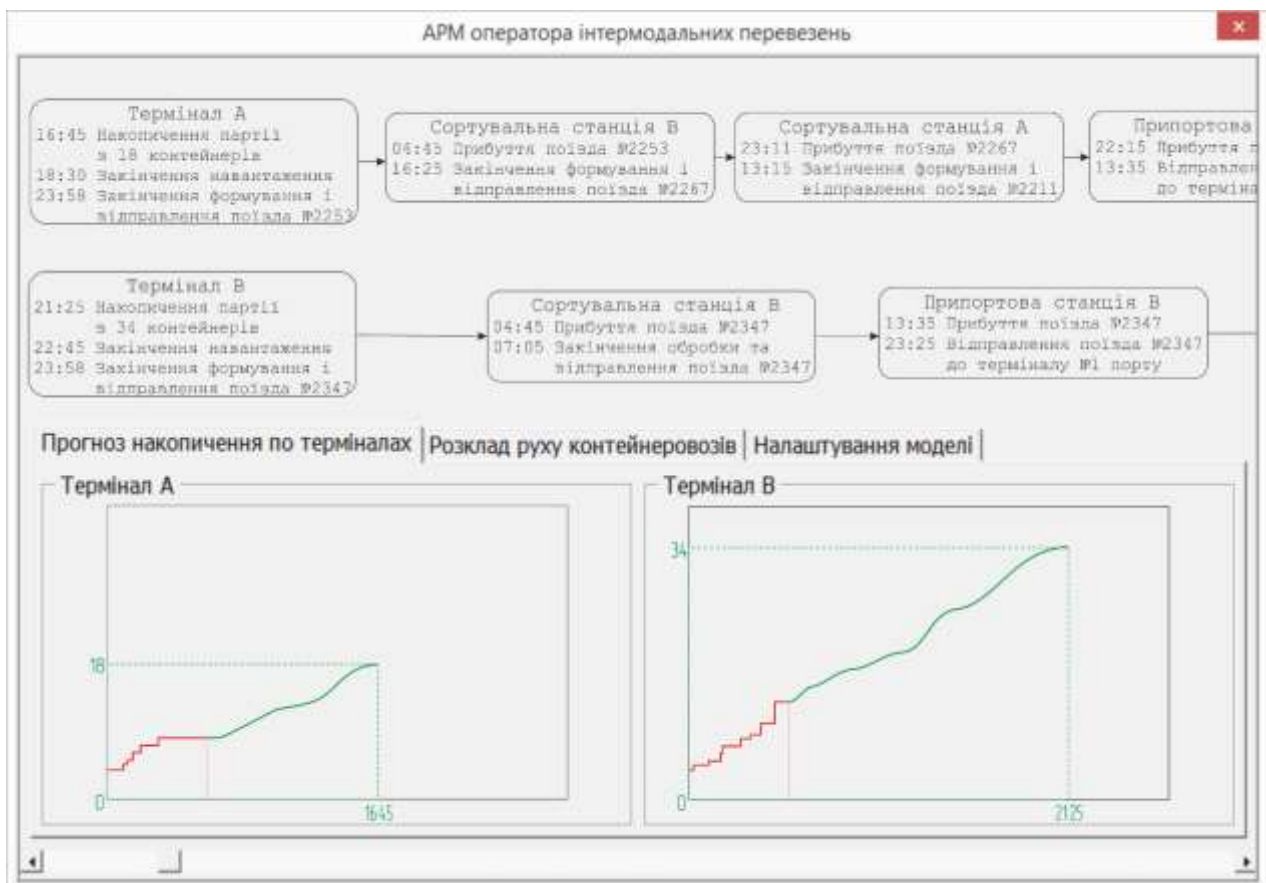


Рисунок 4.3– Інтерфейс вікна оператора інтермодальних перевезень

4.3 Удосконалення структури і комплексу задач АСК ВП УЗ –Є в умовах перевезення потоків контейнерів

Удосконалена структура АСК ВП УЗ-Є в умовах перевезення контейнерів наведена на рисунку 4.4.

З автоматизованих місць лінійного рівня, а саме АРМ ДСЦ, АРМ ДСП в базу АСК ВП УЗ-Є надходить інформація про кількість накопичених контейнерів на станції, про підхід поїздів до станції та їх склад. На основі цієї інформації та даних про розклад надходження і відправлення суден, що передається із зовнішніх баз даних портів на АРМ ДНЦВ, а також з урахуванням заявок транспортно-логістичних компаній через систему АС Месплан, плану формування вантажних поїздів програма моделює складну задачу стохастичної оптимізації за допомогою математичного апарату - теорії випадкових потоків. Вирішення якої, дозволяє визначити оптимальний час закінчення накопичення контейнерів і початку їх транспортування в напрямку порту. Від кількості накопичених контейнерів залежить спосіб і відповідна їх собівартість переміщення: у складі прямого маршруту, у складі неповносоставного, прямого поїзда, у складі інших поїздів із подальшим переформуванням на сортувальній станції на шляху прямування. Дані отримані в результаті моделювання, по каналам зв'язку направляються для узгодження АРМ ДНЦ та АРМ головного диспетчера УЗ. Скорегований та узгоджений план перевезень направляється на автоматизовані робочі місця лінійних підрозділів (станцій) і працівники станцій в день причеплення вагонів до поїздів доповідають інформацію ДНЦ і в центри управління вагонами операторських компаній про виконання плану перевезень.

Також пропонується створити інформаційний зв'язок між оператором інтермодальних перевезень та АСК ВП УЗ-Є та часткове впровадження на його АРМ системи підтримки прийняття рішень, що дозволить вирішувати такі задачі як: прогнозування надходження контейнерних партій, оперативне планування; доведення планів до виконавців. Оператор інтермодальних

перевезень буде володіти інформацією щодо знаходження, накопичення певних контейнерів та у складі якого поїзду планується їх транспортування.

База даних АСК ВП УЗ-Є поєднана з базами даними портів для обміну інформацією, яка зберігається та використовується для виконання прогнозу надходження контейнерних партій на станцію та суден до порту.

Планування навантаження платформ для контейнерного або вантажного поїзду встановлюють згідно з технічним та державним планами навантаження, на підставі заявок вантажовідправників через АС МЕСПЛАН, надходження порожніх платформ, виконується заступником начальника відділу перевезень або черговим вагонорозпорядником (ДНЦВ) на добу із зазначенням навантаження за родом вантажу.

Вихідними даними для складання плану вивантаження є:

- передбачувана наявність платформ на станціях вивантаження до початку доби, на яку розробляється план;
- дані з АСК ВП УЗ-Є про кількість платформ, які планується навантажити в адресу станцій дирекції з інших полігонів і які повинні бути вивантажені в добу, на яку розроблюється план;
- передбачуване надходження контейнерів з інших залізниць та дирекцій
- кількість накопичених контейнерів на тій чи іншій станції.

Таким чином, на основі сформованої автоматизованої технології удосконалено ІКС у складі АСК ВП УЗ-Є за рахунок інтегрування до АРМ оперативних працівників додаткових функцій.

Запропонована технологія організації процесу доставки контейнерів залізничними шляхами при здійсненні інтермодальних перевезень дозволяє використовувати системний ефект при взаємодії термінальних залізничних станцій і морських портів. Як показали результати досліджень у розділах 2, 3, впровадження даної технології призведе до зниження більш ніж на 10% собівартості сухопутної частини транспортування контейнерів у міжнародному сполученні.

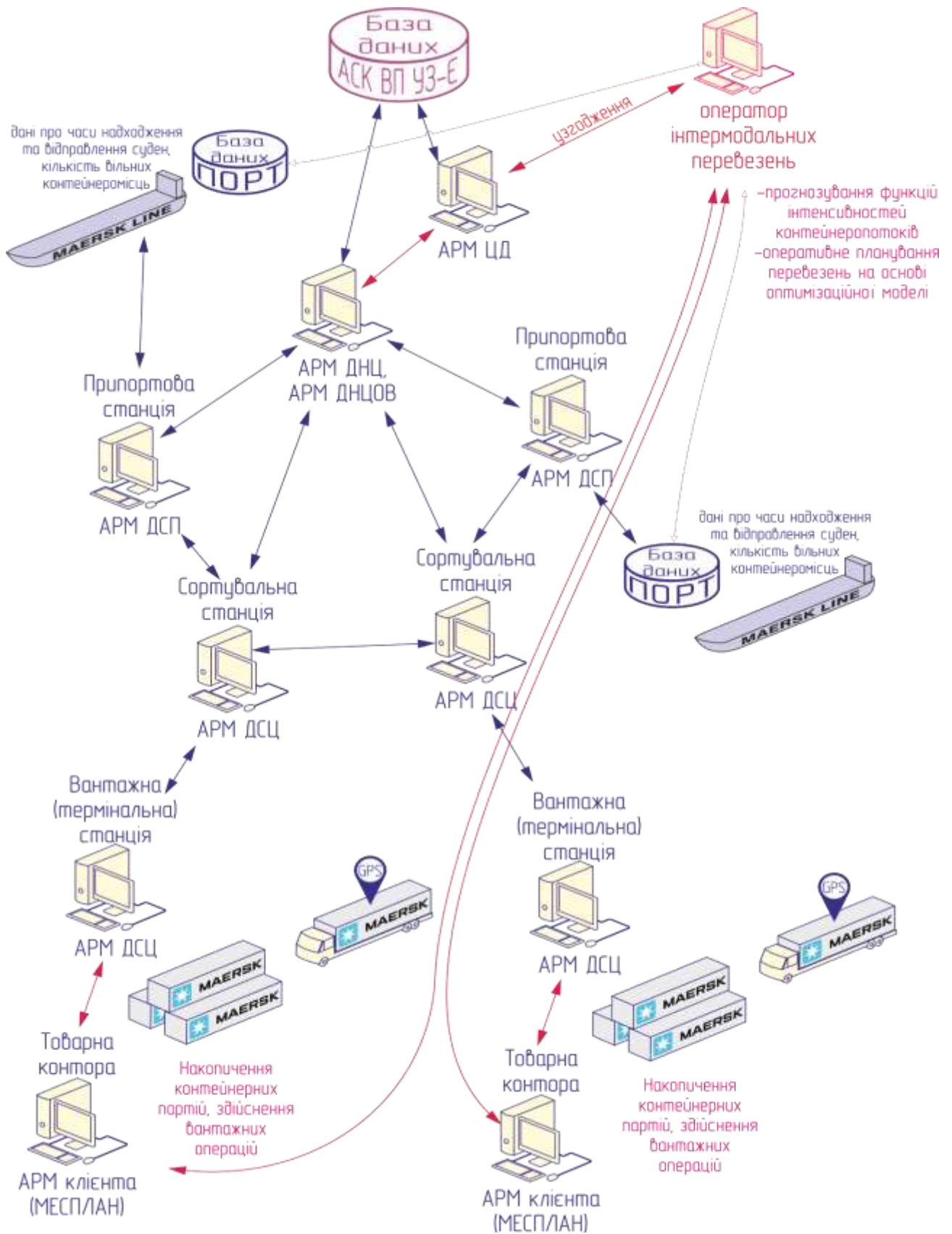


Рисунок 4.4– Удосконалена структура АСК ВП УЗ-Е в умовах перевезення контейнерів

4.4 Визначення економічної доцільності запропонованої технології

Інтегральний економічний ефект від впровадження запропонованої автоматизованої технології досягається за рахунок зменшення тривалості знаходження контейнерів на станції відправлення та припортовій станції до моменту відправлення судна. Як було доведено раніше, у розділах 2, 3, для залізниці економічний результат досягається зменшенням обороту фітінгових платформ в середньому на 10%, що дозволить скоротити експлуатаційні витрати на їх обробку. Для вантажовідправників – вчасної доставки контейнерів у порт під прибуття заброньованого судна, що призведе до зменшення додаткових витрат, а також зменшення частки обороту контейнера, яка припадає на залізничний транспорт від загального обороту контейнера в системі інтермодальних перевезень, що призведе до зменшення собівартості транспортування контейнеру у складі інтермодальних перевезень.

Опираючись на дослідження у роботі [10], в якій зазначається, що у залізничних системах, зокрема АТ Укрзалізниця, принцип руху заснований на відправленні вантажних поїздів “за готовністю” без дотримання нормативного графіка руху поїздів характеризуються значною невизначеністю. Так, відхилення реального часу руху від планового досягає 20–40 %. З вищенаведеного і статистичних досліджень витікає, що приблизно 15-20 % від обсягу перевезених контейнерів залізничним транспортом мають затримки з вини залізниці, які виникають під час накопичення, переробок на сортувальних станціях, простоїв під час навантаження та вивантаження контейнерів. Судноплавні лінії, яким належать контейнери, надають в середньому 21 добу безкоштовного використання контейнера, тобто за цей час контейнер з вантажем повинен бути доставлений у порт залізницею. Інакше нараховується штраф, починаючи з 22 доби, який коливається від 50-100 \$ за добу, в залежності від умов судноплавних ліній.

Застосування запропонованої автоматизованої технології передбачає зменшення собівартості транспортування контейнера залізницею за рахунок зменшення додаткових витрат тобто штрафів.

Економічний ефект для вантажовідправника визначається розрахунком додаткових витрат на транспортування контейнера до впровадження технології і після

$$S = d * (t_{zan} - t'_{zan}) * N_{\kappa}, \quad (4.1)$$

d - середня ставка за понаднормоване користування контейнером за добу, 1250 грн;

t_{zan} - середній час запізнення контейнерів при транспортуванні залізницею до впровадження технології 5 діб;

t'_{zan} - середній час запізнення контейнерів при транспортуванні залізницею після впровадження технології 4 доби;

N_{κ} - середня кількість контейнерів, які прибули невчасно до порту з вини залізниці за рік 30 000 TEUs.

Економічний результат для залізниці від пришвидшення обігу фітінгових платформ можна обчислити наступним чином

$$O_3 = U * (\Theta_n - \Theta'_n) * T * e^{\delta - \rho}, \quad (4.2)$$

Θ_n - середній час обігу фітінгових платформ до впровадження автоматизованої системи;

Θ'_n - середній час обігу фітінгових платформ після впровадження автоматизованої системи;

U - середньодобова робота всієї залізничної мережі;

T - звітний період розрахунку показника;

$e_{\theta-2}$ - витратна ставка за одну вагоно-годину, складає по ПАТ Укрзалізниця в середньому 5,32 грн.

Середній час обігу фітінгових платформ по Укрзалізниця за 2019 рік складає 10 діб. Зменшення часу знаходження фітінгових платформ на станціях відправлення та припортових станціях, за рахунок впровадження запропонованої автоматизованої технології, дозволить скоротити їх обіг в середньому на 10%.

Роботу залізничної мережі визначаємо за наближеною формулою

$$U = \frac{N_n}{\Theta}, \quad (4.3)$$

N_n - експлуатований парк платформ, (всього 4000 платформ, в робочому стані 3000) [128].

Отже економічний результат записуємо таким чином

$$O_3 = N_n \left(1 - \frac{\Theta'}{\Theta} \right) * T * e_{\theta-2}. \quad (4.4)$$

Також економічний результат для вантажовідправника при інтермодальних перевезеннях досягається за рахунок пришвидшення обігу контейнера шляхом зменшення простою контейнера на залізничних станціях, що призведе до скорочення часу користуванням контейнером і зменшенням виплат штрафів судноплавним лініям за користування контейнером, що значно вплине на собівартість транспортування контейнера.

Для оцінки економічної ефективності розглянемо маршрут доставки контейнера за участю залізничного транспорту в системі інтермодальних перевезень за напрямком від ст. Індустріальна (Харків) до Ashdod port (Israel). Середній обіг контейнера з України до Ізраїля за участю залізничного і морського видів транспорту складає 30 діб. Частка обігу контейнера

залізничним транспортом займає 7 діб. Вартість транспортування контейнера від ст. Індустріальна (Харків) до Ashdod port (Israel) =1615\$. З них 510 \$ - вартість транспортування залізницею. Вищенаведені дані наведені транспортно-експедиторською компанією Х.

$$O_{\epsilon} = N_{\kappa} \left(1 - \frac{\Theta'_{\kappa}}{\Theta_{\kappa}} \right) * T * d, \quad (4.5)$$

де N_{κ} - обсяг контейнерів, перевезених за участю залізничного транспорту за рік 384000 TEU;

Θ'_{κ} - середній час обігу контейнера після впровадження автоматизованої системи (6 діб);

Θ_{κ} - середній час обігу контейнера залізничним транспортом до впровадження автоматизованої системи (7 діб);

$e_{\kappa-\epsilon}$ - вартість контейнеро-години простою по Укрзалізниці приймаємо 1.60грн/добу за 1 тону.

Вартість контейнеро-години простою розраховуємо згідно Збірника тарифів і коефіцієнтів до збірника тарифів [129]

$$e_{\kappa-\epsilon} = 1.60 * 20 * 3.023 \setminus 24 = 4,031 \text{ грн} \setminus \text{год за 20 TEU.}$$

Для розрахунку економічного ефекту від впровадження запропонованої технології необхідно зробити прогнозу оцінку обсягів перевезених TEU Укрзалізницею на наступні п'ять років. Для цього був застосований метод ковзної середньої, який передбачає згладжування фактичних значень часового ряду обсягів перевезень за попередні п'ять років. Метод ковзних середніх дає оцінку середнього рівня за деякий період часу чим більше інтервал часу, до

якого належить середня, тим більше плавним згладжуватиме рівень, але тим менш точно буде описана тенденція вихідного ряду динаміки.

Статистичні дані перевезених TEU Укрзалізницею складають:

2015 р.- 240110,

2016 р.- 262800,

2017 р.-291900,

2018 р.-334963,

2019 р.- 384000.

Прогнозування на наступні п'ять років розраховуються за формулою [130]

$$y_{t+1} = m_{t-1} + 1/m(y_t - y_{t-1}), \quad (4.6)$$

де $t+1$ – розрахунковий період;

t – період, що передує прогнозованому періоду (рік, місяць і т.д.);

y_{t+1} – прогнозований показник;

m_{t-1} – змінна середня за два періоди до прогнозованого;

n –число рівнів, що входять в інтервал згладжування;

y_t –фактичне значення досліджуваного явища за попередній період;

y_{t-1} – фактичне значення досліджуваного явища за два періоди, що передують прогнозованому.

Прогнозовані значення обсягів перевезених TEU залізницею становлять на наступні роки становлять:

2020 р. –353000,

2021р. –367654,

2022р. –373103,

2023р. –366502,

2024р. –371286.

Для врахування зміни вартості грошей в часі для кожного року розрахункового періоду визначається відповідний коефіцієнт α_t . Приведення результатів і витрат (економічного ефекту) різних років розрахункового періоду до першого року (дисконтування) здійснюється за формулою [130]

$$\alpha_t^n = \frac{1}{[(1 + E_n)(1 + I + R)]^{t-t_p}}, \quad (4.7)$$

R - ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту в частках одиниці,
 R приймаємо 0.03, що відбиває середній ступінь ризику;

t - порядковий номер року t життєвого циклу проекту, що приводиться до розрахункового (останнього) року;

t_p - порядковий номер останнього року розрахункового періоду;

E_n - річний норматив приведення результатів і витрат різних років до розрахункового періоду;

I - очікуваний середньорічний темп інфляції протягом життєвого циклу проекту в частках одиниці.

Для визначення економічного ефекту необхідно врахувати витрати при реалізації проекту [130]

$$C = \sum_{i=1}^n C_i^K + C_i^H \alpha_i, \quad (4.8)$$

де C_i^K - капітальні витрати на i -тому році;

C_i^H - поточні витрати на i -тому році;

α_i - коефіцієнт дисконтування на i -тому році;

n - кількість років.

Капітальні витрати за перший рік складаються із вартості на розробку і впровадження програмного забезпечення, підготовку системи до експлуатації

(пуско-налагоджувальні роботи) на автоматизованих робочих місцях диспетчерського персоналу і складають 300 000 грн. Щорічні поточні витрати складаються із витрат за заробітну плату, витрат на обслуговування обчислювальної техніки, підтримки програмного забезпечення, витрат за споживану електроенергію і становлять 1,752 млн грн.

Інтегральний економічний ефект при впровадженні нової технології для пришвидшення транспортування контейнерів залізницею у системі інтермодальних перевезень складається з економічного ефекту отриманого для вантажовідправника та залізниці з урахуванням поточних та капітальних витрат і визначається як

$$E = \sum_{i=1}^n (O_s + S + O_e) - (C_i^k + C_i^n) * \alpha. \quad (4.9)$$

В таблиці 4.1 наведені розрахунки інтегрального економічного ефекту від запропонованої технології по роках.

Таблиця 4.1 - Розрахунки інтегрального економічного ефекту від запропонованої технології по роках

Показник	Роки розрахункового періоду				
	2020	2021	2022	2023	2024
Одночасні витрати тис. грн	300,000	0	0	0	0
Поточні витрати, млн грн	1,752	1,752	1,752	1,752	1,752
Економічний результат для вантажовідправника, млн грн	111,77	114,85	116,0	114,61	115,62
Економічний результат для залізниці, тис. грн	582540	582540	582540	582540	582540
Інтегральний економічний ефект, млн грн	110,3	113,38	114,53	113,14	113,57
Коефіцієнт дисконтування	1	0,82	0,67	0,55	0,45
Дисконтований економічний ефект, млн грн	110,3	92,97	76,74	62,23	51,11
Дисконтований економічний ефект з наростаючим підсумком, млн грн	110,3	203,37	280,01	342,24	393,35

4.5 Висновки до розділу 4

На основі аналізу структури АСК ВП УЗ-Є та задач, які вирішує ця автоматизована система було встановлено, що система охоплює практично всі функції, які необхідні для стабільної і якісної роботи всіх ланок управління операційною діяльністю. Але підвищення рівня конкурентоспроможності залізничного транспорту вимагає розширення кола інтелектуальних автоматизованих технологій, що сприяють зменшенню непродуктивних простоїв вантажів та впровадженню логістичних технологій зокрема при перевезенні контейнерів. Тому актуальною стає задача розробки автоматизованої технології формування і просування потоків контейнерів.

Розроблено вимоги до системи підтримки прийняття рішень в межах автоматизованої системи формування та просування потоків контейнерів. Сформовано задачі, які будуть вирішуватись у вигляді СППР на АРМ оперативних працівників.

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 АРМ 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.

Впровадження розробленої автоматизованої технології надасть можливість для зменшення на 10 % експлуатаційних витрат на залізничні 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.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання з формування автоматизованої технології транспортування контейнерів залізницею при здійсненні інтермодальних перевезень з використанням теорії випадкових потоків.

1. Детальний аналіз технології транспортування контейнерів залізницею до порту показав складність, що обумовлена стохастичністю цього процесу, починаючи з надходження контейнерних потоків від вантажовідправників до термінальних станцій, закінчуючи просуванням та обробкою поїздів на шляху прямування. Статистичні дослідження на АТ «Укрзалізниця» довели, що часові показники обробки контейнера на станції відправлення підпорядковуються нормальному закону розподілення з такими параметрами: математичне очікування $\mu = 181.77 год$, середньоквадратичне відхилення $\sigma = 63,98 год$, дисперсія $D = 4093 год$, коефіцієнт нерівномірності $K_{II} = 1,97$. Значний час витрачається на накопичення контейнерів для відправлення їх маршрутним прямим поїздом (приблизно 2-3 доби), а також на переробку поїзда на сортувальних станціях при перевезенні контейнерів у складі інших поїздів. Як довели дослідження, часи перебування контейнерів на припортовій станції підпорядковуються закону Ерланга 3-го порядку і мають такі параметри: інтенсивність $\lambda = 0,005415$, коефіцієнт Ерланга $K_e = 3$. Отже, за рахунок непродуктивних простоїв, значно збільшується час просування контейнерів у складі інтермодальних перевезень.

2. На основі проведеного аналізу закордонних і вітчизняних наукових робіт виявлено, що задачі транспортування контейнерів до порту залізничним транспортом у складі інтермодальних перевезень з урахуванням імовірнісної природи ключових складових цього процесу і з використанням системного підходу вирішено не в повній мірі.

3. На основі аналізу підходів і методів різних наукових теорій, що пов'язані з дослідженням та представленням стохастичних процесів, було встановлено, що інструментом, який є найбільш придатним для формалізації процесів надходження контейнерів до термінальних залізничних станцій та накопичення контейнерних партій з метою формування і відправлення контейнерних поїздів є математичний апарат теорії випадкових потоків або часових точкових процесів.

4. Було доведено, що найбільш простим способом формалізації нестационарного неординарного потоку, що представляють собою контейнерні партії, які надходять до термінальної станції, є його представлення у вигляді суперпозиції потоків, кожен з яких представляє множину подій однакової кратності. На основі реальних даних процесу надходження контейнерів на основі методу максимізації логарифмічної функції правдоподібності було отримано аналітичний вигляд умовної функції інтенсивності нестационарного неординарного потоку та функції інтенсивності складових потоків, що відрізняються за параметром кратності.

5. Із урахуванням отриманих залежностей процес планування організації транспортування контейнерних партій залізницею до морських портів у складі системи інтермодальних перевезень був сформульований у вигляді оптимізаційної моделі стохастичного програмування, основа якої була представлена оптимізаційною моделлю з цільовою функцією у вигляді експлуатаційних сумарних витрат на просування контейнерів сухопутною частиною шляху та системою обмежень, що відтворює технологічні параметри процесу. В результаті оптимізації даної моделі можуть бути визначені моменти закінчення накопичення та спосіб транспортування контейнерних партій одночасно по всіх термінальних станціях полігону (системний ефект). Дана модель є основою для побудови оперативного плану транспортування контейнерних партій.

6. Для визначення вихідних даних для побудови оперативного плану було розроблено модель прогнозування інтенсивності потоку надходження

контейнерів на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання та 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. Даний результат обумовлений застосуванням у складі архітектури розробленої моделі шару з елементів довгої короткострокової пам'яті, які забезпечують можливість знаходження прихованих залежностей та зв'язків між субструктурами даних навіть якщо вони віддалені часовими інтервалами значної тривалості.

7. Здійснено оптимізацію моделі стохастичного програмування за допомогою алгоритму імітації відпалу. В ході оптимізації моделі було 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 повноскладового або неповноскладового маршрутного поїзда або у складі попутних вантажних поїздів із можливим подальшим переформуванням на сортувальних станціях).

8. 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 АРМ операторів 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.

9. Впровадження розробленої автоматизованої технології надасть можливість для зменшення на 10 % експлуатаційних витрат на залізничні 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.

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 управления на железнодорожном транспорте*: 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., Андриєнко 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. Моделювання транзитних транспортних потоків. *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. Шиляєв 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.5 3-55.
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 пропускної 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](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.

Додаток А

Статистичні дані щодо обсягів контейнерних перевезень на станції Харків-Ліски

http://wp.user.zal/AskvpDeskTop/Report.aspx?id_spr=8954&idx=2242478063

АСК ВП УЗ. Портал УЗ. 10.02.2020 9:45:27
Довідка: 8954

Залізниця УЗ
Дирекція Всі
Станція ХАРКІВ-ЛІСКИ (449909)
Звіт з 31.12.2018 17:00:01 по 31.12.2019 17:00:00

Галузева статистична звітність
Форма КЕЗ-1
Затверджено наказом Укрзалізниці
від 17.08.2007 № 410-Ц

ЗВІТ ПРО КОНТЕЙНЕРНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ І ЧАС ПЕРЕБУВАННЯ КОНТЕЙНЕРІВ НА КОНТЕЙНЕРНИХ ПУНКТАХ

№ з/п	Найменування показника	Середньотоннажні		Великотоннажні	
		Всього	з них 5т	Всього	з них 40 ф
1	2	3	4	5	6
Розділ I. Контейнерні перевезення					
1	Завантажено контейнерів			5855	1305
2	Навантажено контейнерів на вагоні – всього			7322	1661
2.1	завантажених			5854	1304
2.1.1	прямих без сортування під час перевезення			5854	1304
2.2	порожніх			1468	357
3	Навантажено і зайнято вагонів завантаженими контейнерами - всього			847	
3.1	прямих без сортування під час перевезення			847	
4	Прибуло транзитних контейнерів для сортування - всього				
4.1	відправлено прямих без сортування під час перевезення				
5	Розвантажено контейнерів			4437	1363
6	Вивантажено контейнерів із вагонів - всього			7489	1698
6.1	завантажених			4452	1364
6.2	порожніх			3037	334
Розділ II. Час перебування контейнерів					
1	Загальний час перебування на контейнерних пунктах контейнерів свого прийому і видачі:				
	кількість контейнерів			7670	1
	кількість контейнеро-годин перебування контейнерів			2455397,2	64875,08
	середній час перебування контейнера, годин			320,13	64875,08
	безпосередньо на контейнерному пункті:				
	кількість контейнерів			7670	1
	кількість контейнеро-годин перебування контейнерів			2455395,48	64875,08
	середній час перебування контейнера, годин			320,13	64875,08
2	Час перебування під сортуванням транзитних контейнерів:				
	кількість контейнерів				
	кількість контейнеро-годин перебування контейнерів				
	середній час перебування контейнера, годин				

http://wp.user.zal/AskvDeskTop/Report.aspx?id_spr=8956&idx=2242478063

АСК ВП УЗ. Портал УЗ. 10.02.2020 9:43:47
Довідка: 8956

Залізниця УЗ
Дирекція Всі
Станція ХАРКІВ-ЛІСКИ (449909)
Звіт з 31.12.2018 17:00:01 по 31.12.2019 17:00:00
Відображення пустих рядків Ні

Галузева статистична звітність
Форма КЕЗ-3
Затверджено наказом Укрзалізниці
від 17.08.2007 № 410-Ц

ЗВІТ ПРО РУХ КОНТЕЙНЕРІВ

№ з/п	Найменування показника	Код показника	Всього	Універсальні									Всього	
				Інвентарний парк						Власні				
				Всього	Всього	Середньотоннажні		Великотоннажні		Всього	Великотоннажні			
						Всього	з них 5т	Всього	з них 40 ф		Всього	з них 40 ф		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
1	Подано контейнерів у вагонах на контейнерний пункт - всього	ПВ	7489	7482	1				1		7481	7481	1693	7
1.1.	завантажених під вивантаження	ПВЗВ	4451	4451	1				1		4450	4450	1364	
1.2.	завантажених для сортування	ПВЗС	1	1							1	1		
1.3.	порожніх під вивантаження	ПВПВ	3037	3030							3030	3030	329	7
4	Завезено контейнерів автотранспортом - всього	ПТ	10370	10370	1				1		10369	10369	2671	
4.1.	завантажених	ПТЗ	5855	5855							5855	5855	1305	
4.2.	порожніх	ПТП	4515	4515	1				1		4514	4514	1366	
6	Надійшло контейнерів у ремонт	СР	72	72	62				62	57	10	10	5	
8	Вивезено контейнерів автотранспортом - всього	СТ	10297	10294	1				1		10293	10293	2648	3
8.1	завантажених	СТЗ	4437	4437	1				1		4436	4436	1363	
8.2	порожніх	СТП	5860	5857							5857	5857	1285	3
10	Завантажено контейнерів - всього	З	5855	5855							5855	5855	1305	
10.1.	на місцях загального користування	ЗЗ	5855	5855							5855	5855	1305	
11	Завантажено тонн у контейнери - всього	ЗТ	133647,88	133647,88							133647,88	133647,88	20100,52	
12	Розвантажено контейнерів - всього	Р	4437	4437	1				1		4436	4436	1363	
12.1.	на місцях загального користування	РЗ	4437	4437	1				1		4436	4436	1363	
13	Навантажено контейнерів на вагоні - всього	Н	7322	7321	1				1		7320	7320	1661	1

http://wp.user.zal/AskvpDeskTop/Report.aspx?id_spr=8956&idx=2242478063

13.1.	завантажених*	НЗ	5854	5854					5854	5854	1304	
13.1.1.	на місцях загального користування	НЗЗ	5854	5854					5854	5854	1304	
13.2.	порожніх**	НП	1468	1467	1		1		1466	1466	357	1
13.2.1.	на місцях загального користування	НПЗ	1468	1467	1		1		1466	1466	357	1
14	Навантажено вагонів з контейнерами - всього	НВ	1071									
15	Вивантажено контейнерів з вагонів - всього	В	7489	7482	1		1		7481	7481	1693	7
15.1.	завантажених	ВЗ	4452	4452	1		1		4451	4451	1364	
15.1.1.	на місцях загального користування	ВЗЗ	4452	4452	1		1		4451	4451	1364	
15.2.	порожніх	ВП	3037	3030					3030	3030	329	7
15.2.1.	на місцях загального користування	ВПЗ	3037	3030					3030	3030	329	7
16	Вивантажено вагонів з контейнерами - всього	ВВ	1165									
17	Загальна наявність контейнерів (на кінець звітної періоду)	К	281742	280981	60245		60245	57670	220736	220736	46927	761
18	Робочий парк контейнерів - всього	КР	158712	157951	15825		15825	13910	142126	142126	39697	761
18.1.	на контейнерному пункті - всього	КРК	143258	142512	15817		15817	13910	126695	126695	35862	746
18.1.1.	завантажених - всього	КРКЗ	45843	45843					45843	45843	11193	
18.1.1.1.	готових до відправлення (своє завантаження)	КРКЗГ	30417	30417					30417	30417	5934	
18.1.1.2.	до вивезення	КРКЗВ	15425	15425					15425	15425	5258	
18.1.3.	порожніх	КРКП	97415	96669	15817		15817	13910	80852	80852	24669	746
18.2.	у вагонах на станційних коліях - всього	КРС	14971	14956	8		8		14948	14948	3752	15
18.2.1.	завантажених	КРСЗ	9284	9284	5		5		9279	9279	3158	
18.2.2.	порожніх	КРСП	5687	5672	3		3		5669	5669	594	15
18.4.	у вагонах в поїздах	КРП	483	483					483	483	83	
18.4.1.	завантажених	КРПЗ	200	200					200	200	44	
18.4.2.	порожніх	КРПП	283	283					283	283	39	
19	Неробочий парк контейнерів (несправні)	КН	123030	123030	44420		44420	43760	78610	78610	7230	

Додаток Б

Статистичні дані щодо перевалки контейнерів у портах України

Ukrainian Container Market 2019 - Port statistics (FULL TEUS)																	
IMPORT, TEU																	
	OMA	MAE	MSC	ZIM	ACOL	APL	COSCO	EVERGR.	ARKAS	HLC	OOCL	CNE	YNG	OTHERS	TOTAL		
ODESSA port																	
	OMA	MAE	MSC	ZIM	ACOL	APL	COSCO	EVERGR.	ARKAS	HLC	OOCL	CNE	YNG	OTHERS	TOTAL		
JAN	2305	2907	4194	88	439	3603	921	726	2130		780	1291	712	310	20397		
FEB	1708	3085	4250	186	232	2359	947	460	2385		642	797	786	360	18209		
MAR	2450	2851	3892	418	453	3942	888	700	3848		988	575	547	503	22213		
APR	3011	2774	5575	472	490	3729	944	1529	2422		951	479	849	1515	24743		
MAY	3574	3086	3288	685	756	4901	1240	926	2347		1546	488	988	252	24095		
JUN	2714	2883	4712	418	722	3882	1682	795	2523		1101	889	1180	680	22972		
JUL	4057	3985	4716	516	769	4786	2563	792	2823		1159	911	1094	440	28601		
AUG	2728	4011	6154	342	432	3851	1771	1125	2843		1183	924	1047	301	26422		
SEP	3680	4954	5122	732	202	4139	1298	1103	1338		1094	2221	1429	368	27816		
OCT	4015	4481	4765	675	72	5322	1148	922	2168		1233	1372	1386	682	26341		
NOV															0		
DEC															0		
TOTAL	30223	0	34799	4678	4744	4570	39794	13488	9668	24827	0	0	18655	18218	5439	243518	
JAN	11%	0%	14%	21%	0%	2%	16%	5%	4%	10%	4%	6%	3%	2%	100%		
FEB	9%	0%	17%	23%	1%	1%	13%	5%	3%	13%	4%	4%	4%	2%	100%		
MAR	11%	0%	13%	18%	2%	2%	16%	4%	3%	17%	4%	3%	2%	2%	100%		
APR	12%	0%	11%	23%	2%	2%	15%	4%	6%	10%	4%	2%	3%	6%	100%		
MAY	15%	0%	13%	14%	3%	3%	21%	5%	4%	10%	6%	2%	4%	1%	100%		
JUN	12%	0%	12%	21%	2%	3%	14%	7%	3%	11%	5%	3%	5%	3%	100%		
JUL	14%	0%	14%	16%	2%	3%	17%	9%	3%	10%	4%	3%	4%	2%	100%		
AUG	10%	0%	15%	23%	1%	2%	15%	7%	4%	8%	4%	3%	6%	1%	100%		
SEP	13%	0%	18%	19%	3%	1%	15%	5%	4%	5%	4%	6%	5%	1%	100%		
OCT	14%	0%	16%	17%	3%	0%	19%	4%	3%	8%	4%	5%	5%	2%	100%		
NOV															#DIV/0!		
DEC															#DIV/0!		
YTD	12%	0%	14%	19%	2%	2%	16%	6%	4%	10%	0%	0%	4%	0%	4%	2%	100%

Рисунок 1- Обсяги перевалки контейнерів у порту Одеса-порт(імпорт), TEU

Ukrainian Container Market 2019 - Port statistics (FULL TEUS)																					
EXPORT, TEU																					
	OMA	MAE	MSC	ZIM	ACOL	APL	COSCO	EVERGR.	ARKAS	HLC	OOCL	CNE	YNG	OTHERS	TOTAL						
JAN	3968	2084	1524	387		229	4412	495	868	1641	901	1046	484	548	20498						
FEB	3031	1952	4232	377		103	2195	477	859	1739	634	1187	572	214	17582						
MAR	4372	1617	3737	526		230	2445	787	834	2066	799	1176	677	401	19687						
APR	4576	2287	5043	537		339	3258	610	1135	1812	897	577	886	564	22515						
MAY	4338	2407	2529	505		231	3669	763	929	1727	1065	345	481	159	18848						
JUN	3170	2265	2501	373		277	2339	788	602	1522	970	448	788	332	16405						
JUL	5019	2865	1895	478		150	2688	875	589	1320	728	412	847	175	18139						
AUG	3734	2363	2481	401		0	2202	866	958	2054	887	485	1010	125	17566						
SEP	3025	2800	2288	559		0	2588	591	781	1360	833	794	1127	235	17235						
OCT	4657	2382	2732	547		0	3054	659	508	1654	1030	1108	938	176	18755						
NOV															0						
DEC															0						
TOTAL	46483	0	23872	31840	4685	1558	28830	6902	7763	16895	0	0	8644	7910	2929	188210					
JAN	19%	0%	10%	0%	17%	2%	0%	1%	22%	0%	2%	4%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
FEB	17%	0%	11%	0%	24%	2%	0%	1%	12%	0%	3%	5%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
MAR	22%	0%	8%	0%	19%	3%	0%	1%	12%	0%	4%	4%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
APR	20%	0%	10%	0%	22%	2%	0%	2%	14%	0%	3%	5%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
MAY	23%	0%	13%	0%	13%	3%	0%	1%	19%	0%	4%	3%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
JUN	19%	0%	14%	0%	15%	2%	0%	2%	14%	0%	5%	4%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
JUL	28%	0%	16%	0%	11%	3%	0%	1%	15%	0%	5%	3%	7%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
AUG	21%	0%	13%	0%	14%	2%	0%	0%	13%	0%	5%	5%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
SEP	19%	0%	18%	0%	13%	3%	0%	0%	15%	0%	3%	5%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
OCT	25%	0%	12%	0%	14%	3%	0%	0%	16%	0%	3%	3%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
NOV																					#DIV/0!
DEC																					#DIV/0!
YTD	22%	0%	12%	0%	16%	2%	0%	1%	15%	0%	4%	4%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Рисунок 2- Обсяги перевалки контейнерів у порту Одеса-порт(експорт), TEU

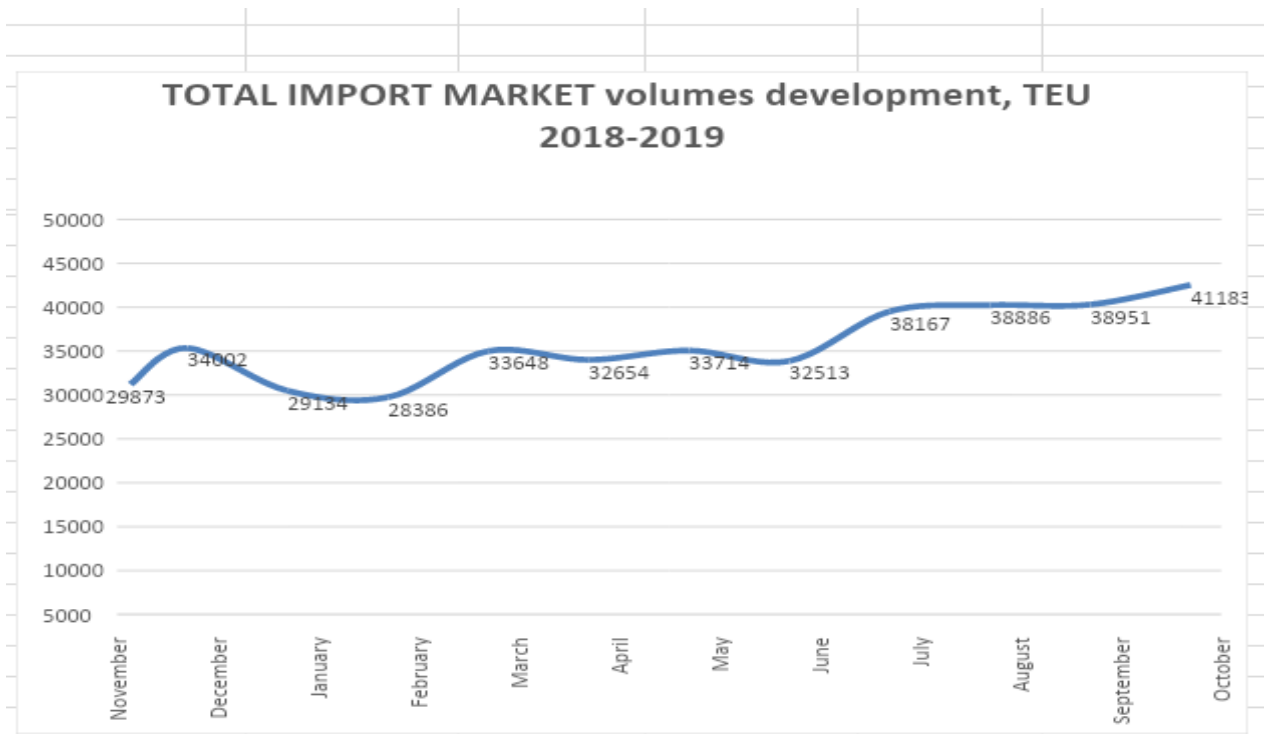


Рисунок 3 – Динаміка розподілу обсягів перевалки контейнерів у портах
України, (імпорт), 2018-2019 рік

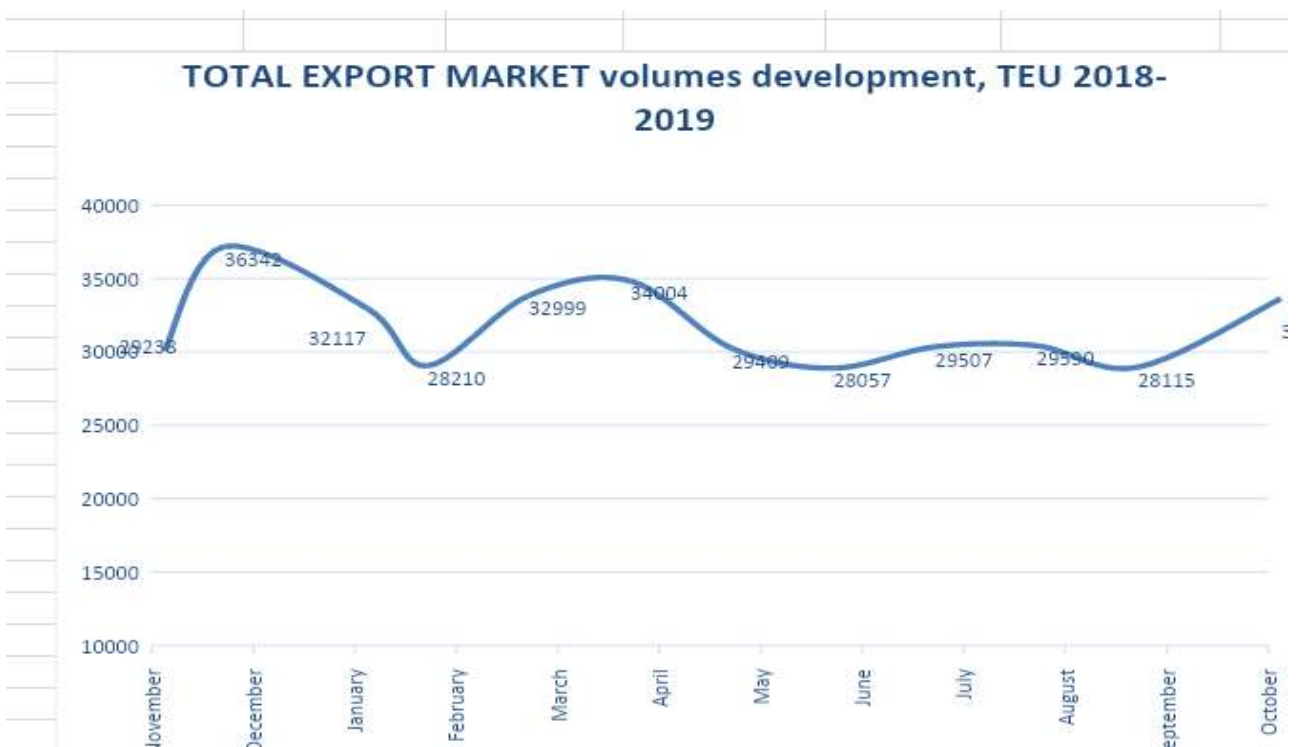


Рисунок 4 – Динаміка розподілу обсягів перевалки контейнерів у портах
України, (експорт), 2018-2019 рік

Додаток В

Фрагмент програми мовою Matlab для оптимізації математичної моделі управління процесом транспортування контейнерів залізницею в рамках системи інтермодальних перевезень

```
function [Z]=likelihood(a)
global p
n=size(p,1);
syms x
f = a(1)+a(2)*x+a(3)*x^2+a(4)*x^3+a(5)*x^4;
F = vpa(abs(int(f,x,[0 max(p)])));
pp=vertcat(p,p(end)+max(p)/n);
iin=[];
for i=1:(size(pp,1)-1)
    iin(i)=(pp(i)+pp(i+1))/2;
end
for i=1:size(iin,2)
    FF(i)= (vpa(abs(int(f,x,[0 iin(i)])))-i)^2; ;
end
ff=vpa(subs(f,x,p));
zz=vpa((sum(ff(find(ff<0))))^4);
Z=zz+sum(FF);
end
f=1
n=30
l=0
    x=x( 1:find(x<1440,1,'last') , 1 )
    ss=[]
    for i=1:size(x,1)-1
        ss(i)= x(i+1)-x(i)
    end
sp=fix(max(ss)*.3) %2.2
mm=zeros(2,1440)
for i=1:1440-sp
    rr=nnz(find(x>=i & x<=i+sp))
    mm(1,i:i+sp)= mm(1,i:i+sp)+rr
    mm(2,i:i+sp)= mm(2,i:i+sp)+1
end
for i=1:1440-sp
    rr=nnz(find(x>=i & x<=i+sp))
    mm(1,i:i+sp)= mm(1,i:i+sp)+rr
    mm(2,i:i+sp)= mm(2,i:i+sp)+1
end
zz=(mm(1,:)./mm(2,:))/60
plot(zz)
hold on
plot(x,zeros(size(x)),'o')
for i=1:size(x,1)
```

```

    f(i+1)=f(i)+1
    if i<size(x,1) & i>1
    l(i)=3/((x(i+1)-x(i-1))*60)
    end
end
l(1)=1.0/(x(2)*60)
l(size(x,1))=1.0/((1440-x(end))*60)
xx = 0:1440;
plot(x,l,'o',xx,yy)
hold on
xlim([0 1440])
yl=get(gca,'ylim')
ylim([0 yl(2)])
ylim([0 .05])
figure
hAx=axes;
newY = polyval(p,1:1440); % function results
digits(3)
pp=vpa(FF1+FF2+FF3)
sss=''
for i=size(pp,2):-1:1
    sx=pp(i)
    sx = char(sx)
    if sx(1)~='-'
        sx= strcat('+',sx) ;
    end
if ~isempty(strfind(sx,'e'))
    sx=strrep(sx,'e','\cdot 10^{')
    sx(end+1)='}'
end
if i<size(pp,2)
    sx=strcat(sx,'t') ;
    if i<size(pp,2)-1
    sx=strcat(sx,'^{',num2str(size(pp,2)-i),'}') ;
    end
end
    sss=strcat(sss,sx)
end
f1=strfind(sss,'t^')
f2=find(sss(f1(14)+1:end)=='}',1,'first')
f3=f1(14)+f2
f4=find(sss(f1(29)+1:end)=='}',1,'first')
f5=f1(29)+f4
f6=find(sss(f1(45)+1:end)=='}',1,'first')
f7=f1(45)+f6
plot(1:1440,polyval(FF1,1:1440)+polyval(FF2,1:1440)+polyval(FF3,1:
1440),'color',[1 0 1])
hAx.XTick=x;
hAx.XTickLabel=datestr(x/1440,'HH:MM');
xtickangle(90)
set(hAx, 'XTick', x,'XTickLabel',x,'Rotation',30)
hold on

```

```

plot(x,zeros(size(x)), 'd', 'color', 'b')
xlim([0 1440])
xlabel('\bf\itt')
ylabel('\bf\it\lambda_{\Sigma}(t)\rm\it, год^{-1}')
yl=get(hAx, 'ylim');
ylim([0 4])
text(720,4.7, { strcat('\it\lambda_{\Sigma}(t)=', sss(1:f3))
sss(f3+1:f5) }, 'horizontalalignment', 'center', 'color', [1 0
1], 'fontsize', 9, 'fontname', 'arial narrow')
ylim([0 5])
fff=poly2sym(p)
FF= vpa(int(fff, [0 1440]))
size(x)
plot(1:1440, polyval(FF1, 1:1440)+polyval(FF2, 1:1440)+polyval(FF3, 1:
1440))
ylim([0 5])
f=1
n=30
l=0
    x=x(    1:find(x<1440,1, 'last')    ,    1    )
    ss=[]
    for i=1:size(x,1)-1
        ss(i)= x(i+1)-x(i)
    end
sp=fix(max(ss)*.3)    %2.2
mm=zeros(2,1440)
for i=1:1440-sp
    rr=nnz(find(x>=i & x<=i+sp))
    mm(1,i:i+sp)= mm(1,i:i+sp)+rr
    mm(2,i:i+sp)= mm(2,i:i+sp)+1
end
for i=1:1440-sp
    rr=nnz(find(x>=i & x<=i+sp))

    mm(1,i:i+sp)= mm(1,i:i+sp)+rr
    mm(2,i:i+sp)= mm(2,i:i+sp)+1
end
zz=(mm(1, :)./mm(2, :))/60
plot(zz)
hold on
plot(x,zeros(size(x)), 'o')
for i=1:size(x,1)
    f(i+1)=f(i)+1
    if i<size(x,1) & i>1
        l(i)=3/((x(i+1)-x(i-1))*60)
    end
end
end
l(1)=1.0/(x(2)*60)
l(size(x,1))=1.0/((1440-x(end))*60)
xx = 0:1440;
plot(x,l, 'o', xx, yy)
hold on

```

```

xlim([0 1440])
yl=get(gca,'ylim')
ylim([0 yl(2)])
ylim([0 .05])
figure
hAx=axes;
p = sym2poly(QQQ)
newY = polyval(p,1:1440); % function results
digits(3)
pp=vpa(p)
sss=''
for i=size(pp,2):-1:1
    sx=pp(i)
    sx = char(sx)
    if sx(1)~='-'
        sx= strcat('+',sx) ;
    end
    if ~isempty(strfind(sx,'e'))
        sx=strrep(sx,'e','\cdot10^{')
        sx(end+1)='}'
    end
    if i<size(pp,2)
        sx=strcat(sx,'t') ;
        if i<size(pp,2)-1
            sx=strcat(sx,'^{',num2str(size(pp,2)-i),'}') ;
        end
    end
    sss=strcat(sss,sx)
end
sss(1)=''
f1=strfind(sss,'t^')
f2=find(sss(f1(6)+1:end)=='}',1,'first')
f3=f1(6)+f2
f4=find(sss(f1(13)+1:end)=='}',1,'first')
f5=f1(13)+f4
plot(1:1440,VVW,'color',[150/255 75/255 0]);
hAx.XTick=x;
hAx.XTickLabel=datestr(x/1440,'HH:MM');
xtickangle(90)
set(hAx, 'XTick', x, 'XTickLabel',x, 'Rotation',30)
hold on
plot(x,zeros(size(x)),'d','color','b')
xlim([0 1440])
xlabel('\bf\itt')
ylabel('\bf\it\Lambda_{\Sigma}(t)\rm\it, год^{-1}')
yl=get(hAx,'ylim');
ylim([0 60])
text(720,.077,{ strcat('\it\lambda_{\Sigma}(t)=' ,sss(1:f3))
sss(f3+1:f5) sss(f5+1:end)},...
'horizontalalignment','center','color',...
[150/255 75/255 0],'fontsize',15)
fff=poly2sym(p)

```

```

        FF= vpa(int(fff,[0 1440]))
        size(x)
    clc
    close all
    clear all
    time=xlsread('data',1, 'B1:M1');
    time=time(1:end-1);
    Vdata1= xlsread('data',1, 'A2:A120'); % Training Input
    Vload= xlsread('data',1, 'B2:M120'); % Training Output
    Tdata= xlsread('data',1, 'A12:A20'); % Testing input
    Tload= xlsread('data',1, 'B12:M20'); % Testing input
    tr=[]
    for ii=1:length(Vdata1)
        train=[Vdata1(ii) time ];
        tr=[tr ;train ];
    end
    Vdata=tr';
    net = newff(Vdata,Vload, 10);
    net.performFcn = 'mae';
    net.trainParam.epochs=3500;
    net.trainParam.showCommandLine = false;
    Trained = sim(net, Vdata);
    figure;
    stem(Trained(:,1)); hold all;
    stem(Trained(:,2)); hold all;
    stem(Trained(:,3)); hold all;
    legend('Forecasted Data', 'Real Data');
    lambda= {@(x) .2*(x-abs(x-2)+abs(x-5)-abs(x-7)-abs(x-13)+abs(x-16))+.8,...
        @(x) .2*(abs(x-6)-abs(x-2)-abs(x-16.2)+abs(x-17))+1.5,...
        @(x) (abs(x - 3) - 2*abs(x - 4) + abs(x - 5))}
    LL=@(x) x/5 - (2*abs(x - 2))/5 + abs(x - 3) - 2*abs(x - 4) +
    (6*abs(x - 5))/5 + abs(x - 6)/5 - abs(x - 7)/5 - abs(x - 13)/5 +
    abs(x - 16)/5 + abs(x - 17)/5 - abs(x - 81/5)/5 + 23/10
    n=3
    P=[]
    wb = waitbar(0,'Please wait...');
    nt=0
    tmax=3
    kmax=25
    tstep=.02
    kstep=1
    LX=[]
    LXX=[]
    nnt=0
    for i=0:tstep:tmax
        nnt=nnt+1
        for j=1:3
            LX(j,nnt)=subs(lambda{j},i);
            LXX(j,nnt)= integral(lambda{j},0,i);
        end
    end
end
end

```

```

wbn=0
wbnn=(tmax/tstep+1)*(kmax/kstep+1)
for t=0:tstep:tmax
nt=nt+1;
nk=0;
for k=0:kstep:kmax
nk=nk+1;
    wbn=wbn+1;
ZZ=0;
for kk=0:k
for i=0: fix(kk/2)
    for j=0: fix((kk-i*2)/3)
        n1=kk-2*i-3*j;
        c1=(integral(lambda{1},0,t)^(n1)) / factorial(n1)
        c2=integral(lambda{2},0,t)^(i) / factorial(i)
        c3=integral(lambda{2},0,t)^(j) / factorial(j)
        z=c1*c2*c3;
    end
end
ZZ=ZZ+z*exp(-(LXX(1,nt)+LXX(2,nt)+LXX(3,nt)))
end
P(nt,nk)=1-ZZ
wbs=wbn/wbnn
waitbar(wbs,wb,num2str(wbs*100));
end
end
plot(P)
[X,Y] = meshgrid(0:tstep:tmax, 0:kstep:kmax);
    surfc(X,Y,P','EdgeColor',[0.7 0.2 0.2],'FaceAlpha',0.05)
box on
    [x,y] = meshgrid(0:.1:3, 0:30);
xlabel('\bft\rm\it, год','fontname','times new roman')
ylabel('\bfn\rm\it, контейнерів','fontname','times new roman')
zlabel('\bfP','fontname','times new roman')
r=.15
x=[]
y=[]
for i=1:size(P,1)
x(i)=i
    y(i)=0
    h=find(P(:,i)>=r,1,'first')
    if ~isempty(h)
        y(i)=h
    end
end
end
plot(y,x)
hold on
P=P'
contour(P)
[C,h] = contour(P,[.1 .2 .3 .4 .5 .6 .7 .8 .85 .99],'color',[.7
0 0]);
clabel(C,h,'FontSize',7,'Color',[.7 0 0])

```



```

hold on
[C,h] = contour(P,[.9 .95 .97 .99],'color',[0 .7 0]);
clabel(C,h,'FontSize',7,'Color',[0 .7 0])
set(gca,'YTick',1:5:26,'YTickLabel',0:5:25)
set(gca,'XTick',26:25:151,'XTickLabel',.5:.5:3)
xlabel('\bft\rm\it, год','fontname','times new roman')
ylabel('\bfW\rm\it, контейнерів','fontname','times new roman')
x=0:.1:24
L1= 0.1*(x.^2+8*x-abs(x-2).*(x-2)+abs(x-5).*(x-5)-abs(x-7).*(x-7)-
abs(x-13).*(x-13)+abs(x-16).*(x-16))+5.9
plot(x,L1,'r-','linewidth',2)
hold on
L2= .1*(-abs(x - 16.2).*(x - 16.2)+15*x-abs(x - 2).*(x - 2) +abs(x
- 6).*(x - 6) +abs(x -17).*(x - 17) )+5.856
plot(x,L2,'g-','linewidth',2)
hold on
L3= 0.5*(abs(x-3).*(x-3)+abs(x-5).*(x-5))-abs(x-4).*(x-4)+1
plot(x,L3,'b-','linewidth',2)
xlim([0 24])
ylim([0 35])
xlabel('t')
ylabel('\Lambda_1(t), \Lambda_2(t), \Lambda_3(t)')
grid on
xticks(0:24)
[x,fval,exitFlag,output] =...
simulannealbnd(ObjectiveFunction,x0,lb,ub);

```

Додаток Г

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію
результатів дисертації

Наукові праці в яких опубліковані основні результати дисертації:*Наукові праці у фахових виданнях України:*

1. 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).

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

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

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: Материалы VII Международной науч.-практ. конф. (Судак, 11-13 октября 2012г.)* Киев: 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 Міжнар. наук.-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 Міжнар. наук.-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 управления на железнодорожном транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практич. конф. (АР Крым, Судак, 8–11 октября 2013 г.)*. Киев: 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 Міжнар. наук.-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. (м.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., 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 міжнародної науково-технічної конференції (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. №а 20120357, 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.

Відомості про апробацію результатів дисертації:

1. 74-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 26–28 квітня 2012 р.) (очна участь).

2. 8-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» (Харків, 5–8 червня 2012 р.) (заочна участь).

3. VII Международная научно-практическая конференция «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте» (Судак, 11-13 октября 2012г.) (заочна участь).

4. 75-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 24–25 квітня 2013 р.) (заочна участь).

5. VIII Международная научно-практическая конференция «Проблемы экономики и управления на железнодорожном транспорте» (АР Крым, Судак, 8-11 октября 2013г.) (заочна участь).

6. 9-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України» (Харків, 5–7 червня 2013 р.) (заочна участь).

7. 76-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 15–17 квітня 2014 р.) (очна участь).

8. 10-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики» (Харків, 5–7 червня 2014 р.) (заочна участь).

9. 3-я Международная научно-практическая конференция «Перспективы взаимодействия железных дорог и промышленных предприятий» (Днепропетровск, 27–28 февраля 2014 г.) (заочна участь).

10. 77-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 21–23 квітня 2015 р.) (очна участь)

11. 11-а Міжнародна науково-практична конференція «Міжнародні транспортні коридори та корпоративна логістика» (Харків, 11–13 червня 2015р.) (заочна участь).

12. 78-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 26–28 квітня 2016 р.) (очна участь).

13. 30-а Міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 26-27 жовтня 2017 р.) (заочна участь).

14. . 79-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 25–27 квітня 2017 р.) (заочна участь).

15. 1-а Міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології» (Трускавець-Харків, 24-30 січня 2020 р.) (очна участь).

Додаток Д

Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи
Українського державного університету
залізничного транспортуД.І. Мкртчян
“ 11 ” _____ 20 22 р.

АКТ

**про впровадження результатів дисертаційної роботи
Колісник Аліни Володимирівни на тему «Формування автоматизованої
технології транспортування контейнерів залізницею на основі теорії
випадкових потоків» у навчальному процесі Українського державного
університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ)**

До основних результатів дисертаційної роботи Колісник А.В., що використовується в навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту належать:

- при формуванні автоматизованої технології перевезень контейнерів з використанням системного підходу сформовано оптимізаційну математичну модель оперативного управління транспортування контейнерів від залізничних термінальних станцій до портів; модель прогнозування інтенсивності потоку надходження контейнерів до залізничних термінальних станцій на основі рекурентних нейронних мереж глибинного навчання
- наукові та практичні підходи до формування автоматизованої технології раціонального управління контейнерними перевезеннями як функціональної підсистеми АСК ВП УЗ-Є.

Дані розробки використовуються з 2019/2020 навчального року при проведенні занять зі слухачами навчально-наукового центру підвищення кваліфікації кадрів Українського державного університету залізничного транспорту, а також при підготовці фахівців зі спеціальності «Організація

перевезень і управління на транспорті (залізничний транспорт)» з дисциплін «Управління експлуатаційною роботою», «Сучасні інформаційні технології в управлінні залізничними підрозділами», «Організація інтермодальних перевезень».

В.о. заступника директора Інституту перепідготовки
та підвищення кваліфікації кадрів
Українського державного університету
залізничного транспорту



В.В. Захарченко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник станції Харків-Ліски

Харківського відділення філії

«Центр транспортного сервісу «Ліски»

акціонерного товариства «Українська
залізниця»



С. А. Діхтяренко

“ 17 ” лютого 20 20 р.

АКТ

про впровадження результатів кандидатської дисертаційної роботи

Колісник Аліни Володимирівни

Про впровадження наукових результатів Колісник Аліни Володимирівни щодо формування автоматизованої технології управління транспортуванням контейнерів у складі системи інтермодальних перевезень на базі відділу філіалу «Центр транспортного сервісу «Ліски» акціонерного товариства «Українська залізниця». Основні результати, що були використані:

- побудова оперативного плану роботи залізничних підрозділів в умовах транспортування контейнерних партій на основі оптимізаційної моделі;
- методи інформаційної взаємодії інтермодальних операторів, лінійними підрозділами залізниці, інформаційно-керуючими системами портів з використанням АСК ВП УЗ-Є, що реалізується автоматизованою технологією транспортування контейнерів залізницею.

Впровадження запропонованих результатів надало можливість підвищити ефективність прийняття управлінських рішень оперативним персоналом відділу філіалу «Центр транспортного сервісу «Ліски» акціонерного товариства «Українська залізниця» щодо організації транспортування контейнерів і формування поїздів, у складі яких є контейнери, та зменшити оборот фітингових платформ в середньому на 10%, що дозволить скоротити експлуатаційні витрати на їх обробку.