

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

ШЕЛЕХАНЬ ГАННА ІГОРІВНА

УДК 656.212.5(477):656.615

## ДИСЕРТАЦІЯ

# УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЗАЄМОДІЇ ОПОРНОЇ СОРТУВАЛЬНОЇ ТА ПРИПОРТОВИХ ВАНТАЖНИХ СТАНЦІЙ З МОРСЬКИМИ ПОРТАМИ

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

Г.І. Шелехань



Науковий керівник

ОГАР Олександр Миколайович,  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Шелехань Г. І.* Удосконалення технології взаємодії опорної сортувальної та припортових вантажних станцій з морськими портами. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.01 – «Транспортні системи». – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2019.

Дисертацію присвячено питанню удосконалення технологічних процесів обробки місцевих вагонопотоків у залізничній транспортній підсистемі шляхом розробки комплексу взаємопов'язаних оптимізаційних моделей для розрахунку раціональних технологічних параметрів процесу обробки вагонів на станціях припортового залізничного вузла призначенням на вантажні фронти.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у дисертації вирішено наукове завдання удосконалення технологічних процесів обробки місцевих вагонопотоків у залізничній транспортній підсистемі «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» (СС – ВС – РП) шляхом розробки комплексу взаємопов'язаних оптимізаційних моделей для розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів призначенням на вантажні фронти на станціях припортового залізничного вузла.

*Вперше:*

– формалізовано технологію функціонування транспортної підсистеми СС-ВС-РП з обробки вагонів призначенням у морський порт, що базується на системному підході та дозволяє визначити раціональну кількість маневрових локомотивів для роботи у підсистемі формування опорної сортувальної станції;

– для розрахунку кількості та величини передач і подач вагонів на

адресу порту, що формуються на опорній сортувальній станції, сформовано оптимізаційну математичну модель на основі мінімізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі СС-ВС-РП з відповідною системою обмежень, що враховує технічні і технологічні параметри зазначеної підсистеми;

– розроблено процедуру відбору вагонів для обробки у припортовому вузлі з урахуванням їх пріоритетності, що базується на виділенні найкрупніших груп призначенням на причали морського порту з урахуванням переробної спроможності припортової станції.

*Удосконалено:*

– метод розрахунку кількості колій у сортувальному парку шляхом виділення із загальної кількості колій парку колій для обробки вагонів з їх пріоритетом, який, на відміну від існуючих, враховує параметри розподілу тривалості накопичення вагонів кожного призначення на состав передавального поїзда та величини составу передавального поїзда на адресу вантажної станції;

– комплекс функціональних задач АСК ВП УЗ-Є шляхом інтеграції до автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера сортувальної станції автоматизованої системи розрахунку поточних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні фронти морських портів та підприємств з метою підвищення ефективності функціонування транспортної підсистеми.

Практичні результати роботи впливають з її прикладної спрямованості, зокрема розроблений комплекс оптимізаційних моделей є основою для автоматизації технології обробки вагонопотоків призначенням у морський порт. Впровадження автоматизованої технології дозволить скоротити тривалість знаходження місцевих вагонів на сортувальній і вантажних станціях припортового вузла та за рахунок раціонального розподілу сортувальної роботи між цими станціями

зменшити рівень завантаження технічних пристроїв на припортових станціях.

Відповідно до теми дисертації опубліковано 15 наукових праць, з яких шість статей, опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (три з них включені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі дві – до бази Scopus), та дев'ять праць апробаційного характеру.

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

У першому розділі проведено аналіз основних кількісних і якісних показників роботи припортового вузла як транспортної підсистеми, що обслуговує морські порти. Виконано аналіз сучасного стану проблеми удосконалення роботи з місцевими вагонами на припортових вантажних станціях. Проведено аналіз етапів розвитку вітчизняної інфраструктури морських портів та прилеглих залізничних станцій, зроблено висновок про невідповідність між кількістю рухомого складу, що надходить на вітчизняні припортові станції, і рівнем стаціонарних технічних пристроїв на них. Обґрунтовано необхідність приведення існуючої інфраструктури припортових станцій до національних та міжнародних стандартів з огляду ефективного здійснення залізничних перевезень, у тому числі у міжнародних сполученнях, з виходами до морських портів і пунктів пропуску через кордони.

У другому розділі для скорочення тривалості знаходження вагонів у підсистемі СС-ВС-РП запропоновано технологію їх обробки шляхом виділення пріоритетних вагонопотоків серед загального обсягу вагонів призначенням у морські порти та подальшого підбирання з них передач на вантажні фронти порту на виділених коліях сортувального парку СС. Це дозволить виключити повторну переробку вагонів на ВС. Під пріоритетним вагонопотоком слід розуміти вагонопотік, відібраний із

загального вагонопотоку, для обробки за пріоритетною технологією на СС з урахуванням потужності призначень та кількості сортувальних колій СС для формування передач з урахуванням інформації про підхід суден до порту.

Оскільки при впровадженні вказаної технології збільшуються обсяги сортувальної роботи на СС, запропоновано для виконання операцій з формування передавальних поїздів на даній станції використовувати за необхідністю також маневрові локомотиви підсистеми формування припортової ВС.

На основі системного аналізу проведено формалізацію функціонування транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту». Системний підхід дозволив визначити множину керованих і некерованих вхідних впливів на підсистему, що досліджується, її параметрів управління, внутрішніх характеристик підсистеми, а також множину вихідних параметрів і параметрів структурної перебудови. Окрім можливості отримання комплексного рішення щодо раціонального числа маневрових локомотивів у підсистемі формування сортувальної станції системний підхід дозволяє також у динаміці оцінити ефективність удосконаленої технології.

Як складову частиною комплексу оптимізаційних моделей розроблено оптимізаційну модель розрахунку раціонального числа маневрових локомотивів для виконання на опорній СС технологічних операцій з формування груп вагонів призначенням у порт в умовах надання інформації про підходи суден до порту за період оперативного планування на основі максимізації продуктивності зазначених локомотивів.

Сформовано оптимізаційну математичну модель розрахунку числа та величини передач і подач вагонів на адресу порту, що формуються на опорній сортувальній станції, за критерієм мінімізації експлуатаційних

витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі з урахуванням їх пріоритетності.

Розроблена у 3 розділі процедура виділення вагонів із загального вагонопотоку, яка дає можливість враховувати такі параметри транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту», як кількість причалів порту, кількість вантажних фронтів на причалах, переробну спроможність припортової станції, кількість колій сортувального парку на сортувальній станції.

Набув подальшого розвитку метод розрахунку числа колій у сортувальному парку, запропонований к. т. н. А. М. Сухопяткіним, який враховує параметри розподілу тривалості накопичення вагонів на состав передавального поїзда та величини составу такого поїзда на адресу припортової станції.

Проведення імітаційного моделювання роботи сортувальної і вантажної станцій припортового вузла у середовищі мереж Петрі дозволило визначити обсяги та тривалість маневрових операцій, що проводяться у транспортній підсистемі, для подальшого їх застосування в оптимізаційних розрахунках раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів на станціях припортового залізничного вузла.

У результаті моделювання процесу функціонування транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» доведено існування мінімуму цільової функції експлуатаційних витрат на обробку вагонопотоків у транспортній підсистемі, що дозволяє сформулювати процедуру оптимального управління конструктивно-технологічними параметрами обробки вагонів на залізничних станціях припортового вузла призначенням на вантажні фронти морського порту.

Перевірка розробленої оптимізаційної моделі розрахунку числа та величини передач і подач на адресу порту, що формуються на опорній СС, на адекватність за критерієм Вілкоксона довела, що з урахуванням значення

нормованої статистики вибірки фактичних та розрахованих даних можна вважати належними до однієї генеральної сукупності.

У 4 розділі на основі комплексу розроблених моделей створено систему підтримки прийняття рішень (СППР) з формування составів передавальних поїздів, інтегровану до автоматизованого робочого місця (АРМ) маневрового диспетчера сортувальної станції автоматизованої системи розрахунку поточних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні fronti морських портів та підприємств.

Економічне обґрунтування доцільності впровадження запропонованої технології обробки вагонопотоків у транспортній підсистемі «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» шляхом співставлення очікуваного ефекту і сукупних витрат на реалізацію проекту в Одеському залізничному вузлі довело, що впровадження пріоритетної технології обробки вагонів дозволить скоротити тривалість простою вагонів на станціях припортового вузла на 13% та отримати протягом п'яти років економічний ефект з наростаючим підсумком близько 75 млн. грн.

*Ключові слова:* припортові вантажні станції, передавальні поїзди, морські порти, пріоритетна обробка вагонів, колійний розвиток сортувального парку.

## **ABSTRACT**

*Shelekhan G. I.* Improvement of the interaction technology between base cargo sorting stations and port cargo stations and seaports. – Qualifying scientific work, manuscript copyright.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 05.22.01 – “Transport Systems”. – Ukrainian State

University of Railway Transport of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the issue of improvement of technological processes of local car traffic handling in the railway transport subsystem by developing a complex of interconnected optimization models to design rational constructive-technological parameters of the car handling process at the stations of the port railway junction with the destination to cargo fronts.

The scientific novelty of the dissertation is in solving the scientific problem of improving the technological processes of local car traffic handling in the railway transport subsystem marshaling station – freight station – port by developing a complex of interconnected optimization models to design rational constructive-technological parameters of the car handling process at the stations of the port railway junction with the destination to cargo fronts.

*For the first time:*

– the technology of functioning of the transport handling subsystem for cars with the destination to a seaport is formalized; the technology is based on the systematic approach and allows to determine the required number of shunting locomotives for operation in the composition subsystem of the base marshaling station using a mathematical model of optimization of the locomotive performance;

– a mathematical model of optimization of operating costs for car handling in the transport subsystem was developed taking into account the car handling priority, to calculate the number and size of transmissions and deliveries to the port composed at the marshaling station;

– a priority-based car selection procedure for handling was developed, which allows to determine the car traffic volume by allocating the largest groups of cars with the destination to the berths of the port, taking into account the handling capacity of the port station.

*Improvements:*



– the method of calculating the number of tracks in the marshalling fleet was improved by allocation the tracks for the priority-based car handling from the total number of tracks of the fleet, and leaving the rest of the tracks for car handling by the conventional technology; the method, unlike the existing ones, takes into account the distribution parameters of the duration of accumulation of cars of each destination per transfer train and the size of the transfer train per to the cargo station;

– complex of functional tasks of the Unified Automated Cargo Transportation Management System of Ukrzaliznytsya (ASK VP UZ-E) was improved by integration into the automated workplace of the shunting dispatcher of the marshaling station of the automated system of calculation of the current constructive-technological parameters of the car handling process at the port junction with the destination to cargo fronts of seaports and enterprises in order to increase the efficiency of functioning of the transport subsystem.

The practical results of the work result from its applied orientation and are as follows. The integration into ASK VP UZ-E of the automated car handling control technology for cars with the destination to the seaport in the transport subsystem allows to reduce the duration of stay of local cars at the marshaling and cargo stations of the port junction. Automation of the workplace of the shunting dispatcher of the marshaling station on the basis of the developed complex of optimization models and the car allocation procedure for handling by the priority technology allows to determine the required number of shunting locomotives for operation in the composition subsystem of the marshaling station of the port junction, number and size of the cars formed at the sorting station and delivered to cargo fronts, which in turn will reduce the duration of stay of local cars at the stations of the port junction through rational allocation of marshaling between these stations and reduce the load on the technical equipment of port stations.

Fifteen scientific works were published on the topic of the dissertation, of which six articles were published in professional scientific journals approved

by the Ministry of Education and Science of Ukraine (three of them are included in international scientometric bases, including two – in Scopus base), and nine works were have the purpose of validation.

In the Introduction, the relevance of the topic is substantiated, the purpose and objectives of the study are stated, the scientific novelty and practical value are presented, and the general description of the work provided.

In Section One, the main quantitative and qualitative indicators of the port performance as a transport subsystem serving seaports are analyzed. The current state of the problem of improving handling of local cars at port cargo stations is analyzed. The stages of development of the domestic infrastructure of seaports and adjacent railway stations were analyzed, and the conclusion was drawn about the discrepancy between the number of rolling stock coming to the domestic port stations and the level of stationary technical equipment there.

In Section Two, functioning of the transport subsystem was formalized using the methods of systematic analysis. The systematic approach allowed determining the set of controlled and uncontrolled input effects on the studied subsystem, its control parameters and internal characteristics, as well as the set of output and structural adjustment parameters. This allowed obtaining a complex solution for the required number of shunting locomotives in the composition subsystem of the marshaling station under the specified operating conditions on the basis of the developed mathematical model of productivity maximizing of shunting locomotives in the composition subsystem.

In order to reduce the duration of stay of cars at port cargo stations by eliminating the need to handle them again at the cargo station, the car handling technology which involves allocating priority cars among the total cars with the destination to seaports and further selecting from them car transfers to cargo fronts of the port on the allocated tracks of the marshaling fleet of the marshaling station was proposed.

A mathematical model of optimization of operating costs for car handling in the transport subsystem was developed, taking into account the car

handling priority, which gives the opportunity to calculate the number and size of transmissions and deliveries to the port composed at the base marshaling station.

The priority car selection procedure developed in Section 3 allows determining the car traffic volume by allocating the largest groups of cars with the destination to the berths of the port, taking into account the handling capacity of the port station.

The method of calculating the number of tracks in the marshaling park, proposed by A.M. Suhopyatkin, PhD in Sci. Eng., was further developed, with account for the parameters of the distribution of the duration of car accumulation per transfer train and the size of such a train to the port station.

Imitational simulation of operation the marshaling and cargo stations of the port junction in the Petri nets allowed to determine the volume of shunting work performed in the transport subsystem for their further use in optimization calculations of rational constructive-technological parameters of the car handling process at the stations of the port railway junction.

As a result of the simulation, the existence of a minimum of the effectiveness function of operating costs of car handling in the transport subsystem marshaling station – cargo station – port is proved, which allows to design an optimal control procedure for the technological car handling parameters at the railway stations of the port junction with the destination to cargo fronts.

The adequacy verification of the developed optimization model for determining the number and size of the transmissions and deliveries to the port formed in the base marshaling station by the Wilcoxon criterion proved that, given the value of the rated statistics, selection of actual and calculated data can be considered to belong to one general population.

In Section 4, a decision support system for transfer train marshaling was designed on the basis of a set of developed models, integrated into the automated workstation of the shunting dispatcher of the marshaling station of

the automated system for calculating the current constructive-technological parameters of the car handling process in the port junction with the destination to cargo fronts of seaports and enterprises.

The economic feasibility of the implementation of the proposed car handling technology in the transport subsystem by comparing the expected effect and the total project cost at the Odessa railway junction showed that the economic effect of the implementation of the priority car handling technology within five years be about UAH 75 million.

*Keywords:* port cargo stations, transfer trains, seaports, priority car handling, track development of the sorting station.

#### Список публікацій здобувача

##### ***Основні наукові праці:***

##### *Наукові праці у фахових виданнях України:*

1. Шелехань Г.І. Застосування принципів системного аналізу для раціоналізації функціонування припортових вантажних станцій з обслуговуванням контейнерних вантажопотоків. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 130-134.

2. Шелехань Г.І. Удосконалення підходу до розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків у системі «сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту». *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень*. 2015. Вип. 9. С. 72-78.

3. Шаповал Г.В., Шелехань Г.І, Занік І.В. Дослідження впливу поїздоутворення на ефективність сортувального процесу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Вип. 166. 2016. С. 68-78.

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

4. Шелехань Г.І., Продащук М.В. Удосконалення процесу взаємодії сортувальної та припортової станцій при обслуговуванні експортних вагонопотоків. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Вип. 168. 2017. С. 10-18. (видання індексується у базі *Index Copernicus*).

5. Butko T., Prodashchuk S., Bogomazova G., Shelekhan G., Prodashchuk M., Purii R. Improvement of technology for management of freight rolling stock on railway transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 87. № 3. 2017. P. 4-11. doi: 10.15587/1729-4061.2017.99185. (видання індексується у базі *Scopus*).

*Публікації у виданнях інших держав:*

6. Panchenko S., Ohar O., Shelekhan G., Skrebutene E. Optimization of transport system operation using ranking method. *Procedia Computer Science*. Vol. 149, 2019. P. 110-117. doi: 10.1016/j.procs.2019.01.114. (видання індексується у базі *Scopus*).

#### **Праці апробаційного характеру:**

7. Шаповал Г.В., Шелехань Г.І. Удосконалення контейнерних вагонопотоків у складі мультимодальних перевезень територією України. «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики»: тези доповідей Десятої наук.-практ. міжнар. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. Збірник наукових праць УкрДАЗТ (Харків, 5-7 червня 2014). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 36.

8. Шелехань Г.І. Підвищення ефективності функціонування морських портів та припортових станцій. *Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів*: тези наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.) Дніпропетровськ: ДНУЗТ. 2014. С. 87-88.

9. Шелехань Г.І. Удосконалення технології обробки вагонопотоків у

системі «Сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту». *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті*: матеріали X ювілейної міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 30 червня – 01 липня 2015). Київ: ДЕДУТ, 2015. С. 167-168.

10.Шелехань Г.І. Дослідження ефективності застосування удосконаленої технології обробки вагонопотоків у системі «сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту». *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. 119-120.

11.Шелехань Г.І. Удосконалення технології роботи системи «Сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту» при обслуговуванні експортних вагонопотоків. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. (Харків, 25–27 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 223-225.

12.Шелехань Г.І. Розроблення моделі функціонування транспортної системи у нечітких умовах. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. (Харків, 24–26 квітня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 166-167.

13.Шелехань Г.І. Підвищення ефективності використання колійного розвитку сортувальних парків на сортувальних станціях припортових вузлів. *«Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці»*. Збірник наукових праць VI наук. конф. (Харків, 18 жовтня 2018 р.). Харків: Державний вищий заклад «Університет менеджменту освіти». ПП «Технологічний центр», 2018. С. 70.

14. Шаповал Г.В., Шелехань Г.І., Собина А.В. Удосконалення технології просування вагонопотоків у припортовому вузлі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників 31-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 24-26 жовтня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. № 4 (додаток). С. 38-39.

15. Огар О.М., Берестов І.В., Шелехань Г.І., Осадча Ю.В. Формалізація функціонування транспортної системи з обробки вагонів призначенням на вантажні фронти морських портів та підприємств. *«Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*: тези 79-ї Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2019. С.184-186.

## ЗМІСТ

Вступ	19
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ПІДСИСТЕМ ОБРОБКИ ВАГОНІВ ПРИЗНАЧЕННЯМ У МОРСЬКІ ПОРТИ	27
1.1 Етапи розвитку, стан і прогресивні тенденції взаємодії морського і залізничного транспорту	27
1.2 Аналіз конструктивно-технологічних параметрів об'єктів транспортних підсистем обробки вагонів призначенням у морські порти	34
1.3 Аналіз показників роботи припортових станцій на мережі залізниць	44
1.4 Аналіз наукових досліджень щодо удосконалення технології роботи транспортних систем з обслуговування вагонопотоків	50
1.5 Висновки до розділу 1	55
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАГОНІВ НА СТАНЦІЯХ ПРИПОРТОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА	57
2.1 Обґрунтування вибору напрямку досліджень процесу обробки вагонів на станціях припортового залізничного вузла	57
2.2 Формалізація технології функціонування транспортної підсистеми «сортувальна станція – припортові вантажні станції – районні парки порту» та розробка математичної моделі оптимізації продуктивності роботи локомотивів	60
2.3 Формування математичної моделі оптимізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі «сортувальна станція – припортові вантажні станції – районні парки порту»	68
2.4 Висновки до розділу 2	77



РОЗДІЛ 3 РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАГОНПОТОКІВ У ТРАНСПОРТНІЙ ПІДСИСТЕМІ «СОРТУВАЛЬНА СТАНЦІЯ – ВАНТАЖНА СТАНЦІЯ – РАЙОННІ ПАРКИ ПОРТУ»	79
3.1 Розробка процедури визначення величини пріоритетного вагонопотоку	79
3.2 Визначення кількості сортувальних колій для обробки пріоритетних вагонопотоків	87
3.3 Формування імітаційних моделей функціонування об'єктів транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту»	99
3.4 Аналіз системних властивостей імітаційних моделей	105
3.5 Моделювання процесу функціонування транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту»	108
3.6 Оцінка адекватності і стійкості моделі процесу обробки вагонів у транспортній підсистемі	113
3.7 Висновки до розділу 3	117
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА ВИМОГ ДО АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ПОТОЧНИХ КОНСТРУКТИВНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАГОНІВ У ПРИПОРТОВОМУ ВУЗЛІ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ ВПРОВАДЖЕННЯ	119
4.1 Формування вимог до системи підтримки прийняття рішень з формування составів передавальних поїздів на адресу припортових станцій	119
4.2 Удосконалення автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера сортувальної станції	124
4.3 Економічне обґрунтування ефективності впровадження запропонованої технології обробки вагонопотоків у транспортній підсистемі з урахуванням їх пріоритетності	128

4.4 Висновки до розділу 4	135
ВИСНОВКИ	139
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	143
Додаток А Характеристика причин зниження переробної спроможності припортових станцій	155
Додаток Б Аналіз статистичного матеріалу	159
Додаток В Програмний інтерфейс процесу функціонування станцій припортового вузла	161
Додаток Г Дослідження адекватності оптимізаційної моделі на основі мінімізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі	165
Додаток Д Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	167
Додаток Е Акти впровадження	171

## ВСТУП

**Актуальність теми.** З метою створення умов для функціонування транспортної мережі України та її інтеграції до світової транспортної мережі, а також для вироблення скоординованої політики у транспортному середовищі України протягом останнього десятиліття законодавством України було створено та запроваджено ряд стратегічних документів, що визначають напрямки розвитку залізничного транспорту з урахуванням особливостей галузі, її ролі у процесах зовнішньоекономічних відносин та забезпечення ефективності національної економіки.

Одним із напрямків підвищення ефективності роботи залізничного транспорту є вирішення питання ефективної взаємодії морського та залізничного транспорту, оскільки залучення транзитного євразійського потоку забезпечує значну користь від експорту та імпорту транспортних послуг. Однак в умовах погіршення ситуації на транспорті внаслідок економічної кризи український транспортний ринок переживає тривалий спад обсягів перевезень. Крім того, незадовільним є підхід до питань технічних і технологічних інновацій та модернізації технічних об'єктів, що призводить до нераціонального використання технічних потужностей транспорту в умовах розвитку міжнародних перевезень та як наслідок – до збільшення непродуктивних простоїв вагонів міжнародних потоків у процесі їх обробки на станціях. Так, з 12 припортових залізничних станцій України лише 4 мають гірковий сортувальний пристрій та сортувальний парк, на решті станцій формування і розформування поїздів виконується на витяжних та приймально-відправних коліях. При цьому середня тривалість простою місцевих вагонів на припортових вантажних станціях складає 59,2 год., а на сортувальних станціях – 12,7 год. та може збільшуватись до 45,7 год.

За таких умов серед об'єктів транспортної галузі, задіяних у процесі міжнародних вантажоперевезень, потребує дослідження транспортна

підсистема «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» (СС-ВС-РП), що спеціалізована для обробки вагонів призначенням у морський порт та є складовою загальної залізничної транспортної системи. Під транспортною підсистемою СС-ВС-РП розуміється технологічно узгоджений комплекс організаційних транспортних структур та технічних пристроїв з переробки та переміщення вагопотоків, об'єктами якої є опорна сортувальна станція, припортові вантажні станції та районні парки морського порту. Оптимізація основних конструктивно-технологічних параметрів вказаної підсистеми дозволить підвищити ефективність її функціонування та зменшити непродуктивні простой місцевих вагонів, у тому числі міжнародного призначення.

Зважаючи на викладене, тема дисертації є актуальною і зорієнтованою на вирішення важливого наукового завдання удосконалення процесу обробки вагопотоків у припортових залізничних вузлах.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р) і Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 11.07.2013 р. № 548-р).

Автор брала участь у якості виконавця у науково-дослідній роботі «Оптимізація технологічних параметрів припортових залізничних вузлів» (ДР № 0119U101808).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є удосконалення технології обробки вагопотоків у припортових залізничних вузлах за рахунок раціонального розподілу сортувальної роботи з формування передач місцевих вагонів між станціями припортового вузла.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

- проаналізувати умови функціонування транспортної підсистеми СС-ВС-РП припортових залізничних вузлів з метою виявлення причин зниження ефективності обробки у ній місцевих вагонопотоків;

- проаналізувати теоретичні дослідження з удосконалення процесу обробки місцевих вагонопотоків у припортових вузлах;

- з урахуванням системного підходу розробити оптимізаційну модель розрахунку раціонального числа маневрових локомотивів СС для виконання технологічних операцій з формування і передачі груп вагонів призначенням на вантажні фронти;

- сформувавши оптимізаційну модель розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні фронти морських портів та підприємств;

- розробити процедуру відбору вагонів для обробки на опорній сортувальній станції припортового вузла з урахуванням їх пріоритетності;

- удосконалити метод розрахунку числа колій у сортувальному парку для обробки вагонопотоку з урахуванням їх пріоритетності;

- розробити систему підтримки прийняття рішень (СППР) з формування составів передавальних поїздів для маневрового диспетчера опорної сортувальної станції припортового вузла;

- обґрунтувати економічну доцільність запропонованих заходів з удосконалення процесу обробки місцевих вагонопотоків у припортових вузлах.

*Об'єкт дослідження* – процес обробки вагонопотоків у припортовому вузлі.

*Предмет дослідження* – технологія обробки місцевих вагонопотоків у припортових вузлах.

**Методи дослідження.** Проведення статистичних оцінок параметрів технології роботи станцій припортового залізничного вузла виконано із застосуванням методів математичної статистики, регресійного аналізу та методів візуалізації даних. Для вирішення оптимізаційних завдань було

застосовано методи дослідження операцій, зокрема дискретне нелінійне програмування. Методи планування експериментів і регресійного аналізу використовувались для перевірки адекватності розробленої моделі процесу обробки вагонів у транспортній підсистемі. При побудові процедури формування груп вагонів на сортувальній станції призначенням у морські порти використано чисельні методи. Для моделювання функціонування станцій припортового вузла використано апарат мереж Петрі.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертації вирішено наукове завдання удосконалення технологічних процесів обробки місцевих вагонопотоків у залізничній транспортній підсистемі «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» шляхом розробки комплексу взаємопов'язаних оптимізаційних моделей для розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів призначенням на вантажні фронти на станціях припортового залізничного вузла.

*Вперше:*

- формалізовано технологію функціонування транспортної підсистеми СС-ВС-РП з обробки вагонів призначенням у морський порт, що базується на системному підході та дозволяє визначити раціональну кількість маневрових локомотивів для роботи у підсистемі формування опорної сортувальної станції;

- для розрахунку кількості та величини передач і подач вагонів на адресу порту, що формуються на опорній сортувальній станції, сформовано оптимізаційну математичну модель на основі мінімізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі СС-ВС-РП з відповідною системою обмежень, що враховує технічні і технологічні параметри зазначеної підсистеми;

- розроблено процедуру відбору вагонів для обробки у припортовому вузлі з урахуванням їх пріоритетності, що базується на

виділенні найкрупніших груп призначенням на причали морського порту з урахуванням переробної спроможності припортової станції.

*Удосконалено:*

– метод розрахунку кількості колій у сортувальному парку шляхом виділення із загальної кількості колій парку колій для обробки вагонів з їх пріоритетом, який, на відміну від існуючих, враховує параметри розподілу тривалості накопичення вагонів кожного призначення на состав передавального поїзда та величини составу передавального поїзда на адресу вантажної станції;

– комплекс функціональних задач АСК ВП УЗ-Є шляхом інтеграції до АРМ маневрового диспетчера сортувальної станції автоматизованої системи розрахунку поточних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні fronti морських портів та підприємств з метою підвищення ефективності функціонування транспортної підсистеми.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичні результати роботи впливають з її прикладної спрямованості, зокрема розроблений комплекс оптимізаційних моделей є основою для автоматизації технології обробки вагонопотоків призначенням у морський порт. Впровадження автоматизованої технології дозволить скоротити тривалість знаходження місцевих вагонів на сортувальній і вантажних станціях припортового вузла та за рахунок раціонального розподілу сортувальної роботи між цими станціями зменшити рівень завантаження технічних пристроїв на припортових станціях.

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту при підготовці фахівців усіх освітніх програм спеціальності 275 – «Транспортні технології (залізничний транспорт)» при вивченні дисциплін «Залізничні станції та вузли» і «Проектування об'єктів залізничної інфраструктури».

Практичне значення результатів роботи з удосконалення технології обробки вагонопотоків у припортових вузлах підтверджено відповідним актом впровадження у виробничий процес на сортувальних та вантажних станціях регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Українська залізниця». Акти впровадження у навчальний та виробничий процеси наведені у додатках до дисертаційної роботи.

**Особистий внесок здобувача.** Дослідження, що висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає у такому: у [3] формалізовано задачу підвищення ефективності сортувального процесу на сортувальній станції при формуванні багатогрупних поїздів та запропоновано рішення за допомогою імітаційного моделювання у мережах Петрі; у [4] побудовано імітаційні моделі роботи сортувальної та припортової станцій за удосконаленою технологією при обробці експортних вагонопотоків; у [5] побудовано оптимальний план розподілу вагонів на полігоні за допомогою штучної нейронної мережі; у [6] описано метод знаходження максимально можливої кількості вагонів для пріоритетної обробки у транспортній підсистемі при мінімальній її тривалості; у [7] визначено основні напрямки розвитку мультимодальних перевезень в Україні; у [14] сформовано математичну модель, критерієм якої є максимізація переробки вагонопотоків на припортовій станції з урахуванням існуючих технічних потужностей; у [15] сформовано вхідні впливи та множину вихідних параметрів транспортної підсистеми з обробки вагонів призначенням на вантажні фронти морських портів.

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

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



– Науково-практичній конференції «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (м. Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.);

– X ювілейній Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (м. Київ, 30 червня – 01 липня 2015 р.);

– 78-й, 79-й, 80-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (м. Харків, 26-28 квітня 2016 р.; 25-27 квітня 2017 р.; 24-26 квітня 2018 р.);

– VI Науковій конференції «Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці» (м. Харків, 30 жовтня 2018 р.);

– 31-й міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (м. Харків, 24-26 жовтня 2018 р.);

– 79-й Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (м. Дніпро, 16-17 травня 2019 р.).

У повному обсязі результати дисертаційної роботи заслухано та схвалено на розширеному засіданні кафедри залізничних станцій та вузлів Українського державного університету залізничного транспорту.

**Публікації.** Відповідно до теми дисертації опубліковано 15 наукових праць, з яких шість статей, опубліковані у фахових наукових виданнях, затверджених МОН України (три з них включені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі дві – до бази Scopus), та дев'ять праць апробаційного характеру.

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

Повний обсяг дисертації складає 174 сторінки, з яких обсяг основного тексту – 113 сторінок, 14 рисунків за текстом, та 1 таблиця і 1

рисунок на окремих сторінках, список використаних джерел із 119 найменувань і 6 додатків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РОБОТИ ТРАНСПОРТНИХ ПІДСИСТЕМ ОБРОБКИ ВАГОНІВ ПРИЗНАЧЕННЯМ У МОРСЬКІ ПОРТИ

1.1 Етапи розвитку, стан і прогресивні тенденції взаємодії морського і залізничного транспорту

Структура і обсяги перевалки вантажів у морських портах багато у чому визначається тенденціями розвитку економіки країни. Аналіз тенденцій розвитку українських морських портів, які також залежать від стану і національних зовнішньоторговельних напрямків розвитку держави, говорить про те, що у різні періоди технічний устрій і характер роботи морських портів були орієнтовані по-різному.

Складний розвиток усієї світової транспортної системи характеризується загальною тенденцією прискорення транспортного процесу, що суперечить динаміці зниження швидкостей на усіх видах транспорту з метою зменшення енерговитрат. Збільшується невідповідність між кількістю рухомого складу, що надходить, і рівнем стаціонарних технічних пристроїв на залізничних станціях. Виникають диспропорції між портами країн-відправників і портами країн-одержувачів, посилення тенденції обслуговування без використання портових пристроїв, організації безперевантажувальних систем [1].

Зарубіжні порти мають приблизно рівні вхідні та вихідні потоки вантажів, що вимагає установки на їх вантажних фронтах універсального перевантажувального обладнання для забезпечення рівної продуктивності робіт у обох напрямках перевалки (суша – море і навпаки), узгодженої технології підводу та забирання вагонів для забезпечення стабільної та ефективної роботи єдиних транспортних комплексів з обслуговування міжнародних вантажопотоків.

Відмінності в інфраструктурі і рухомому складі країн Європи і Азії створюють значні проблеми у розвитку єдиної залізничної мережі, спричиняють великі затримки поїздів на кордонах, знижуючи швидкість доставки і тим самим послаблюючи позиції залізниці на ринку транспортних послуг.

Однією з найважливіших характеристик морських портів є розвиненість мережі комунікацій видів транспорту, що взаємодіють з ними, оскільки ці комунікації забезпечують ритмічність роботи порту і можливість збільшення вантажообігу.

Залізнична мережа, яка обслуговує датський порт Гамбург, другий в Європі за обсягами перевалки вантажів після Роттердама, на регулярній основі стала приймати вантажні поїзди збільшеної довжини з сортувальної станції Машин до припортової станції Падборг. При цьому були розглянуті аспекти, пов'язані як з організацією руху, так і з забезпеченням його безпеки. Це перш за все питання, що стосуються систем переїзної автоматики, відстаней між сигналами та ін. Відповідно до прогнозованих обсягів перевантаження споруджуються стаціонарні пристрої, обладнані електронними системами управління, розширюються інші об'єкти інфраструктури.

Також до бельгійського терміналу Альтенвердер примикає колійний трикутник, який пов'язує між собою перевантажувальну станцію, групу колій відстою і мережу залізничних ліній. У групі колій відстою є витяжна колія, що дозволяє виконувати сортувальні та маневрові роботи без сортувальної гірки. Станція для перевантаження контейнерів розрахована як для перевалки контейнерів за схемою «судно – термінал – залізниця», так і для системи змішаних перевезень «залізниця – автомобільний транспорт». Нова залізнична гілка з'єднує термінал Альтенвердер з портовою станцією Альте-Зюдерельбе, яка володіє сучасним сортувальним обладнанням та формує маршрутні поїзди. Тільки 30-40% усіх вантажних вагонів сортується у порту за допомогою сортувальної гірки. Усі ці вагони

не входять до складу маршрутних поїздів. Інші маневрові роботи (накопичення, підготовка порожніх вагонів та ін.) за аналогією з парком відстою терміналу Альтенвердер виконуються на прилеглих станціях Вальтерсхоф і Мюленвердер, які для цього відповідним чином модернізовані. Для розширення станції Альті-Зюдерельбе її сортувальні колії, з яких згідно з новою концепцією відправляються вантажні поїзди до прилеглих до порту районів, подовжені.

Три найбільших портових комплексів США – Лос-Анджелес – Лонг-Біч, Окленд і Сіетл – Такома постійно займаються нарощуванням переробної спроможності, але їх робота залежить від організації вивезення вантажів, тобто від ступеня розвитку інфраструктури залізниць. Великі залізничні компанії інвестують значні кошти на укладання других і третіх головних колій в основних коридорах напрямку схід – захід. Також застосовується практика перевезення контейнерів на вагонах у два яруси, що дозволяє прискорити процес вивезення вантажів з порту. Запущені в експлуатацію законсервовані залізничні лінії з метою звільнення пропускної спроможності головних магістралей державного значення.

Портовий термінал Норфолк є найбільшим у Північній Америці і має потужність 60 млн. тонн на рік. Його відмінністю є те, що значна частина вантажів перевантажується прямо із залізничних вагонів на морські судна. Тому сам термінал працює у режимі сортувальної станції.

У Англії і Південній Африці застосовується практика державного управління морськими портами на узбережжі, а також потужностями залізничних магістралей, включених до відомства портів.

Другий за обсягом перевалки вантажів у Європі морський порт Антверпен має прямий доступ до залізничних, авіаційних та автодорожніх мереж Бельгії. Усі термінали у порту Антверпен підключені до мережі залізниць. Формуються і відправляються поїзди до 70 міст у 19 країнах світу завдяки розвитку залізничних перевезень на середні та дальні відстані човниковими поїздами. У порту розташований залізничний вузол

для трьох основних залізничних коридорів у Європі: Коридор 1 (Рейн – Альпи), Коридор 2 (Північне море – Середземномор'я), Коридор 8 (Північне море – Балтійське море). Для обслуговування численних транспортних потоків у порту Антверпен розроблена сучасна залізнична інфраструктура. Повністю автоматизована центральна сортувальна станція Антверпен-Північ, яка займає площу близько 500 га, є найбільшою в Європі. У порту також є кілька залізничних контейнерних терміналів для обробки зростаючого обсягу контейнерних перевезень. Залізнична інфраструктура постійно модернізується, що призвело до збільшення її пропускної спроможності вдвічі. Сучасна інфраструктура порту дозволяє розширити його функціонал і створити залізничний контейнерний хаб для формування експортних контейнерних поїздів.

Термінали канадського порту Ванкувер нарощують обсяги перевалки вантажів за рахунок реалізації програми з організації руху вантажних поїздів формування припортовими станціями довжиною до 3050 м.

У найбільшому порту Туреччини Стамбулі розташовані основні вантажні і пасажирські причали, а залізнична станція розташована на території порту, що забезпечує перевалку морських вантажів з суден безпосередньо на залізничний транспорт.

Для покращення взаємодії у роботі російського морського порту Усть-Луга і припортової станції Лужська було створено локальний логістичний центр, який дозволив мінімізувати обсяги маневрової роботи та зменшити простої вагонів на залізничній станції та терміналах порту. При цьому операції насуву і розпуску вагонів на сортувальній гірці здійснюються в автоматичному режимі.

У більшості зарубіжних портів розвинених країн основну частку розвантажувальних вантажів становить сировина, а вантажів, що відправляються, – продукція промислового виробництва. З аналізу роботи зарубіжних портів можна зробити висновок, що залізничний транспорт на них використовується для доставки і вивезення масових, у першу чергу,

навалювальних вантажів. Крім того, здійснюються перевезення продукції машинобудування і вантажів, що транспортуються по інтермодальній технології, у тому числі контейнерів.

В умовах планового господарства існування СРСР у структурі вантажопотоків 80-х років у результаті значного зростання зовнішньоторговельного вантажообігу утворилася невідповідність між існуючою пропускною потужністю портів та технічних потужностей припортових станцій, які при будівництві були орієнтовані на внутрішньодержавний напрямок розвитку транспорту. Через нестачу портових потужностей у період масового надходження вантажів, особливо при перевалці імпортного зерна та інших продовольчих товарів, на рейдах морських портів в очікуванні вивантаження простоювали транспортні судна, що призводило до знецінення матеріальних товарів, затримки доставки вантажів споживачам.

У зв'язку з перебудовою 90-х років техніко-експлуатаційні показники роботи залізниць значно скоротились на користь автомобільного транспорту. Наразі ж за обсягом вантажних перевезень залізничним транспортом Україна майже вдвічі перевищує сумарні обсяги перевезень 12 країн Європейського співтовариства.

Але незважаючи на суттєву нестачу портових потужностей у період з 1980 по 1990 рр., спостерігалось зростання вантажообігу морських портів СРСР, а до кінця 90-х років ХХ століття морські порти та припортові станції мали достатню пропускну спроможність і повністю задовольняли потреби країни у перевантаженні зовнішньоторговельних і каботажних вантажів. Розпад СРСР призвів до різкого спаду обсягу виробництва, погіршення економічних зв'язків і вантажопотоків, значного зниження забезпечення транспортними послугами внутрішніх потреб і зовнішньої торгівлі.

На зростання перевезень вантажів у Чорному та Азовському морях значний вплив мало будівництво у період 1960-1990 років під'їзних

залізничних колій до стратегічно важливих морських портів Одеси, Миколаєва, Херсона, Маріуполя), що сприяло розширенню зони їх впливу далеко за межі України. При цьому структура вантажообігу портів Чорного і Азовського морів по видах плавання були подібні, а близько 60% вантажообігу портів складала експортно-імпортні вантажі. У структурі експорту переважали нафта, залізна і марганцева руди, зернові, а імпорту – метали, чорна металургія та інші продукти обробної промисловості.

У останні десятиріччя обсяг залізничних перевезень в Україні значно зменшився за рахунок того, що зі скороченням обсягів промислового виробництва виникла зміна товарної структури вантажопотоків. Внаслідок цього вантажообіг залізниць, який у 1990 році складав 474 млрд. т-км, знизився у 2000 році до 173 млрд. т-км, але починаючи з 1999 року стала помітною тенденція до його збільшення.

Активний розвиток морських портів з 1991 року по 2001 рік привів до вирішення завдань щодо подолання кризового стану вітчизняного портового господарства, викликаного розділом морського транспорту між колишніми союзними республіками. З розпадом СРСР в Україні діяв технічно оснащений порт Південний, морська залізнична поромна переправа Іллічівськ-Варна. У силу зазначених причин на початку 1990-х років ХХ століття більше половини зарубіжних зовнішньоторговельних вантажів перевалювалися у портах України. Однак виробнича потужність портів та технічні можливості припортових залізничних станцій були недостатніми для перевалки швидко зростаючих обсягів вантажів, особливо наростаючих експортних. З 1998 року почалося зростання обсягів перевалювання у портах каботажних вантажів.

У 2002-2010 роках зросло забезпечення потреб економіки і зовнішньої торгівлі у перевалці експортно-імпортних, транзитних і каботажних вантажів на високому технічному, технологічному і



організаційному рівнях у тісній взаємодії з суміжними видами транспорту і вантажовласниками.

Приріст кількісних показників є результатом розвитку портів за рахунок будівництва нових і реконструкції діючих потужностей, а також активізації стивідорної діяльності. На сьогодні близько 10% вантажів, які переробляються у вітчизняних портах, – наливні, близько 25% становлять тарно-штучні вантажі і 65% – сипучі суховантажі [2].

Згідно з міжнародним портовим довідником Port Guide Fairplay, у світі сьогодні налічується понад 16600 морських портів і терміналів. З урахуванням обсягу українських вантажів, які прямують транзитом через порти суміжних держав, частка українських портів у світовому вантажообігу знаходиться в одному ряду з такими європейськими і скандинавськими країнами, як Німеччина, Швеція, Бельгія, Норвегія, а також країнами, що мають виходи до стратегічно важливих морських шляхів, як Мексика, Саудівська Аравія, Туреччина, Греція.

За результатами останніх років, перевалка зерна у Одеському, Чорноморському і Миколаївському портах, які розширили свої експортні можливості, істотно наростили перевалку зернових, яку відрізняє інтенсифікація перевантажувальних процесів і збільшення обсягів складського зберігання зерна.

Таким чином, приведення існуючої інфраструктури морських портів та прилеглих залізничних станцій до національних та міжнародних стандартів є необхідним з огляду ефективного здійснення залізничних перевезень, у тому числі у міжнародних сполученнях з виходами до морських портів і пунктів пропуску через кордони.

## 1.2 Аналіз конструктивно-технологічних параметрів об'єктів транспортних підсистем обробки вагонів призначенням у морські порти

З метою створення умов для функціонування спільного транспортного простору та вироблення скоординованої політики у транспортному середовищі протягом останнього десятиліття законодавством України було створено та запроваджено ряд стратегічних документів, що визначають напрямки розвитку залізничного транспорту з урахуванням особливостей галузі, його ролі у процесах зовнішньоекономічних перетворень та захисту економічних інтересів країни.

Зокрема, Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року [3] є основним документом розвитку транспорту та визначає виконання із загального числа таких завдань, як розвиток мультимодальних транспортних технологій та інфраструктурних комплексів під різні види транспорту; забезпечення єдиної технологічної сумісності на основних напрямках перевезень та стиках між видами транспорту; часткову переорієнтацію вантажних перевезень на залізничний транспорт.

Стратегією АТ «Українська залізниця» на 2019-2023 р.р. [4] передбачено реалізацію стратегічних ініціатив, серед яких встановлення обґрунтованих тарифів, розділення перевізників із забезпеченням рівних умов доступу, раціоналізація активів і знаходження механізмів для використання неефективної з економічної точки зору інфраструктури за рахунок покращення позицій у секторі управління вагонами і розвитку інтермодальних перевезень.

Основні напрями розвитку та структурних реформ України у рамках нової транспортної політики визначені у базових документах стратегічного планування щодо розвитку національної економіки у сфері діяльності транспорту України, а також у державних програмних документах, згідно

яких заплановано зменшити ступінь зношування та забезпечити оновлення технічних засобів транспорту до 50%.

За даними АТ «Українська залізниця», станом на 2019 рік знос основних фондів залізничного транспорту досяг критичної точки за багатьма пунктами технічного забезпечення (рисунок 1.1). Робочий парк магістральних електровозів складає 66% від інвентарного, магістральних тепловозів – 42%, маневрових тепловозів – 62%, вантажних вагонів – 64%. Магістральні колії з простроченим капітальним ремонтом (з урахуванням реконструкції) налічують 27% від їх загальної протяжності.



Рисунок 1.1 – Зношеність технічних засобів залізничного транспорту, %

В умовах загострення ситуації на транспорті внаслідок економічної кризи український транспортний ринок переживає тривалий спад обсягів перевезень, вимагає рішення питання зношеності матеріально-технічної бази. Незадовільним є підхід до питань технічних і технологічних інновацій та модернізації, що призводить до незадовільного використання потенційних можливостей транспорту з розвитку міжнародних перевезень.

У плані розвитку інтермодальних перевезень найбільшої уваги згідно [5, 6] потребують питання ефективної взаємодії морського та залізничного

транспорту як найбільш проблемних та найбільш перспективних аспектів розвитку інтермодальності у Європейському Союзі та з країнами Азіатського напрямку. Залучення транзитного євразійського потоку забезпечує максимальну вигоду від експорту та імпорту транспортних послуг.

Наведене вище зумовлює необхідність пошуку ефективних технологій використання технічних потужностей, функціонування та взаємодії об'єктів залізничної інфраструктури та інших видів транспорту з обслуговування стратегічно значущих вантажопотоків з метою залучення нових і збільшення обсягів вантажоперевезень існуючих клієнтів залізничного транспорту.

Припортові станції здійснюють прийом і відправлення передавальних поїздів, сортування вагонів за основними вантажними напрямками і окремими вантажними фронтами, накопичення і формування передавальних поїздів на опорну сортувальну станцію. Як правило, припортові станції розташовуються у безпосередній близькості до морських портів для зручності їх обслуговування, а на їх розташування відносно сортувальних станцій впливають різні фактори: структура вузла, його роль у регіоні, економіко-транспортні характеристики, характер промислового виробництва, величина і структура вагонопотоків та ін. У більшості крупних вузлів на припортових вантажних станціях проводиться 30-45% місцевої роботи, що складається з переробки експортних та імпортних вагонопотоків, які прямують через морські порти. Тому вантажні станції, що обслуговують морські порти, на сьогодні багато у чому визначають роботу з транспортного обслуговування промисловості в експортно-імпортному відношенні.

Призначення припортових станцій на залізницях України відображають наступні експлуатаційні схеми їх роботи у напрямку перевалки «залізниця – морський порт»:

а) призначені для порту завантажені та порожні вагони залізниця передає на припортову станцію у несортованому розташуванні у составі поїзда;

б) припортова станція сортує вагони по окремим портовим районам або причалам;

в) припортова станція підбирає вагони по місцях стоянки судів, а за необхідності – по окремим місцям навантаження;

г) вагони подаються відповідно до їх попередньої розстановки готовими до вивантаження і забираються після вивантаження.

Напрямок перевалки «морський порт – залізниця» передбачає виконання таких схем:

а) подача готових до завантаження порожніх вагонів і їх прибирання після навантаження;

б) сортування вагонів за призначеннями на залізничній мережі, перестановки у межах припортової станції (відноситься до частково завантажених і частково вивантажених вагонів);

в) накопичення вагонів для передачі на залізницю, прийом вагонів залізницею з подальшим формуванням поїздів на сортувальній станції.

Крім того, в обох напрямках прямують состави з вагонами з однорідними вантажами (зерно, металопродукти, руда, вугілля, нафта і т. д.) по одним і тим же коліям до пункту перевалки у порту і назад при масовому навантаженні-вивантаженні вантажів.

Технічне оснащення і технологія роботи існуючих припортових станцій відповідають визначальним факторам і нормам, закладеним ще у методиках минулого століття, тому мають суттєвий вплив на ефективність роботи припортових станцій у сучасних умовах. Так, у залежності від обсягів роботи закладалося, що припортові станції відносили до проміжних або вантажних та споруджували їх при чотирьох і більше причалах у порту при відстані між портом і припортовою станцією 13 км і більше [7]. Але з появою і розвитком міжнародних торгових відносин

характер і обсяги роботи станцій значно змінилися, ринкові умови економічних відносин країни наклали вимоги і до технології і технічного оснащення припортових станцій як важливих об'єктів залізничної інфраструктури. З'явилися невідповідності в оснащенні станцій сучасним обсягам переробки вагонів, зокрема такі:

- корисна довжина і кількість сортувальних колій на припортових станціях формувалася з використанням рекомендацій, розроблених для сортувальних і вантажних станцій. Сучасні умови роботи припортових станцій і характер їх взаємодії з портами відрізняється рядом особливостей, що впливають на кількість сортувальних колій на цих станціях. До них слід віднести розміри і структуру вагонопотоків, технологію обслуговування вантажних фронтів у порту;

- існуючі методи визначення кількості сортувальних колій на портових станціях не передбачають урахування технології маневрового обслуговування і, зокрема, порядок вибору вантажних фронтів для їх обслуговування;

- сортувальні колії у ряді припортових станцій відсутні або відсутня їх спеціалізація за призначенням подач;

- слабо досліджені такі фактори, що впливають на колійний розвиток припортових станцій, як характер вагонопотоків, що надходять на адресу портів, нерівномірність надходження вагонів на адресу вантажних районів і фронтів порту, технологія обслуговування вантажно-розвантажувальних фронтів і тривалість обробки подач;

- технологічно було закладено, що робота з формування подач вагонів на адресу вантажних фронтів порту повинна виконуватись на території порту, але фактично технологія взаємодії станції і порту передбачає виконання цієї роботи на коліях станції.

Крім того, нерівномірне надходження вантажів на адресу припортових станцій, невиконання технологічних норм вантажних робіт у зв'язку з нестійкою роботою перевалочних механізмів, несвоєчасним

підходом суден, відсутністю вільних складських площ, несприятливими погодними умовами у портах призводять до збільшення числа составів поїздів, які простоюють на коліях припортових станцій.

Вхідний вагонопотік на припортові станції характеризується досить високим ступенем роздрібності. На окремі станції нерідко надходять передавальні поїзди з вагонами призначенням на більше ніж 20 вантажних фронтів, а на деяких припортових станціях кількість місць, що працюють, загального і незагального користування складає декількох десятків. Тому на основних сортувальних станціях вузлів, які формують поїздопотоки на інші напрямки, неможливо повністю забезпечити детальне підбирання вагонів, хоча рівень їх завантаження в останні роки дещо знизився. До того ж, в Україні припортові станції будувалися та переоснащувалися у першу чергу для переробки імпорту, який декілька десятиліть тому переважав над експортом.

З розвитком торгових відносин та розширенням номенклатури вантажів напрямок роботи портів змінився на експортно-імпортний. Особливо різко це позначилося на спеціалізації крупних морських портів – Чорноморський, Одеський, Південний та Миколаївський. На залізниці різко збільшилися обсяги сортувальної і маневрової роботи зі збирання і розстановки вагонів на численних фронтах. Переробна спроможність припортових станцій і пропускна спроможність районних парків біля портів значно нижче переробної спроможності самих портів та не відповідає обсягам вантажопотоків, що прямують через припортові станції. Така диспропорція продовжує збільшуватися з кожним роком і призводить до погіршення показників використання рухомого складу і збільшення собівартості залізничних перевезень. Раціоналізація розподілу сортувальних операцій з місцевими вагонопотоками між сортувальними станціями і припортовими станціями може сприяти підвищенню ефективності функціонування залізничних вузлів з транспортного обслуговування промисловості.

Сучасний морський порт – це великий транспортний об'єкт, що складається зі споруд і пристроїв, призначених для забезпечення стоянки і підготовки судів, перевалки вантажів з морського на інші види транспорту і назад, підготовки і комплектації вантажних потоків, їх зберігання, обслуговування пасажирів. Розміри станцій і парків, які обслуговують вантажні фронти порту, залежать від різних факторів: обсягу і характеру роботи припортового вузла, розмірів і характеру розміщення портових пристроїв, ступеню обмеженості території порту і припортових станцій, топографічних умов. Україна володіє найпотужнішим портовим потенціалом серед усіх країн Чорного моря. На узбережжі Чорного і Азовського морів знаходиться 13 морських торговельних портів і 12 порт-пунктів.

У таблиці 1.1 наведено характеристику морських торговельних портів України та позначено наявність або відсутність сортувальних колій на залізничних станціях, які їх обслуговують, для виконання маневрової роботи зі збирання і розстановки вагонів на вантажні фронти портів.

Таблиця 1.1 – Характеристика морських портів та припортових залізничних станцій

№	Назва порту	Спеціалізація по напрямкам і вантажам	Припортова залізнична станція, що обслуговує порт	Наявність сортувального парку або сортувальних колій на станції
1	2	3	4	5
1	Белгород-Дністровський МТП	експортні, лісні, каботажні, зернові, мінерально-будівельні матеріали, генеральні	вантажна станція Белгород-Дністровський	–



Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
2	Бердянський МТП	експортні, каботажні, навалочні, насипні, генеральні, наливні, контейнери	вантажна станція Бердянськ	–
3	Ізмаїльський МТП	експортні, транзитні, навалочні, насипні, тарно-штучні, контейнерні	вантажна станція Ізмаїл-Порт	+
4	Маріупольський МТП	експортні, імпорتنі, навалочні, насипні, генеральні, негабаритні, контейнери, нафтоналивні	вантажна станція Маріуполь-Порт	+
5	Миколаївський МТП	експортні, імпорتنі, транзитні, каботажні генеральні, навалочні, наливні, зернові	вантажна станція Миколаїв вантажний	+
6	Одеський МТП	експортні, імпорتنі, транзитні, каботажні, генеральні, метали, нафтопродукти, контейнери, навалочні, зернові	вантажна станція Одеса-Порт	–

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5
7	СМТП Ольвія	експортні генеральні, тарно-штучні	вантажна станція Жовтнева	—
8	МТП Рені	транзитні генеральні, навалочні, наливні, насіпні, великовагові, негабаритні, контейнери	вантажна станція Рені- Порт	—
9	Скадовський МТП	каботажні, транзитні навалочні, генеральні, зернові	—	—
10	Усть- Дунайський МТП	транзитні, експортно-імпортні, каботажні навалочні, насіпні	—	—
11	Херсонський МТП	транзитні, експортно-імпортні, каботажні навалочні, генеральні, зернові, контейнерні	вантажна станція Херсон-Порт	—
12	Чорноморський МТП	експортні, імпортні, транзитні, каботажні навалочні, генеральні, зернові, контейнерні	вантажна станція Чорноморськ- Порт	+

Продовження таблиці 1.1

13	МТП Південний	транзитні, експортно-імпортні, каботажні генеральні, навалочні, наливні, насипні, великовагові, негабаритні, контейнери	вантажні станції Берегова, Чорноморська і Хімічна	— + —
----	---------------	---	---	-------------

Обслуговування десяти найбільших за обсягами переробки морських портів України відбувається припортовими станціями, 6 з яких не мають гіркового сортувального пристрою та сортувального парку або окремих колій для сортування. Сортувальну роботу виконують найбільш трудомістким і непродуктивним способом – осаджуванням вагонів. На деяких станціях немає окремих спеціалізованих витяжних колій (Бердянськ, Одеса-Порт, Белгород-Дністровський), і сортування вагонів виконують на ділянках під'їзних колій, головних і приймально-відправних коліях. Для припортових станцій із спеціалізованими парками (Ізмаїл, Чорноморськ-Порт, Маріуполь-Порт) характерна наявність більш розвинених сортувальних пристроїв. Окремі витяжні колії є практично на усіх станціях даної групи, половина з них оснащена гірками малої потужності, де станції мають витяжні колії спеціального профілю. Разом з тим усі припортові станції мають характерний недолік, який полягає в обмеженій довжині витяжних колій. У більшості випадків потрібен попередній розподіл составів передавальних поїздів на частини перед виконанням розформування.

Таким чином, сучасний стан та характер роботи припортових станцій вимагає перегляду багатьох техніко-технологічних аспектів функціонування та приведення їх у відповідність умовам, що склалися за роки переходу транспортної галузі України до ринкової економіки. Одним

із головних напрямків з підвищення ефективності обслуговування вагонопотоків призначенням у морські порти є удосконалення технології роботи припортових залізничних вузлів.

### 1.3 Аналіз показників роботи припортових станцій на мережі залізниць

Удосконалення взаємодії у роботі станцій та портів спрямоване на поліпшення такого важливого показника ефективності роботи залізничних підприємств, як зменшення величини простою вагонів. Простої місцевих вагонів з урахуванням здвоєних операцій особливо великі на станціях, що обслуговують морські порти [8, 9], більша частина яких приходить на простої з моменту прибуття вагонів на станцію до подавання їх до фронтів розвантаження та до відправлення зі станції після завершення вантажних операцій. Ця величина залежить від ритмічності виконання вантажної роботи за періодами доби та зростає внаслідок того, що вантажна робота у нічні години доби складає близько 10-20% добового обсягу роботи.

Аналіз роботи припортових вантажних станцій показав, що для них характерні значні непродуктивні міжопераційні простої вагонів, що призводять до збільшення часу перебування місцевого вагона у вузлі. На частку власне вантажних операцій припадає не більше 20% загального часу перебування вагонів на станції, а решта – непродуктивні простої в очікуванні подавання та забирання вагонів.

На рисунку 1.2 наведено діаграму середніх простоїв місцевих вагонів під різними технологічними операціями на припортових станціях України за 2018 рік. Як видно з рисунку, загальний час знаходження вагонів на розглянутих станціях досягає двох і більше діб. За час просування з місця відправлення до місця прибуття вагонопотік припортових станцій переробляється у вузлі до 4-5 разів по прибутті і 2-3 рази по відправленню.

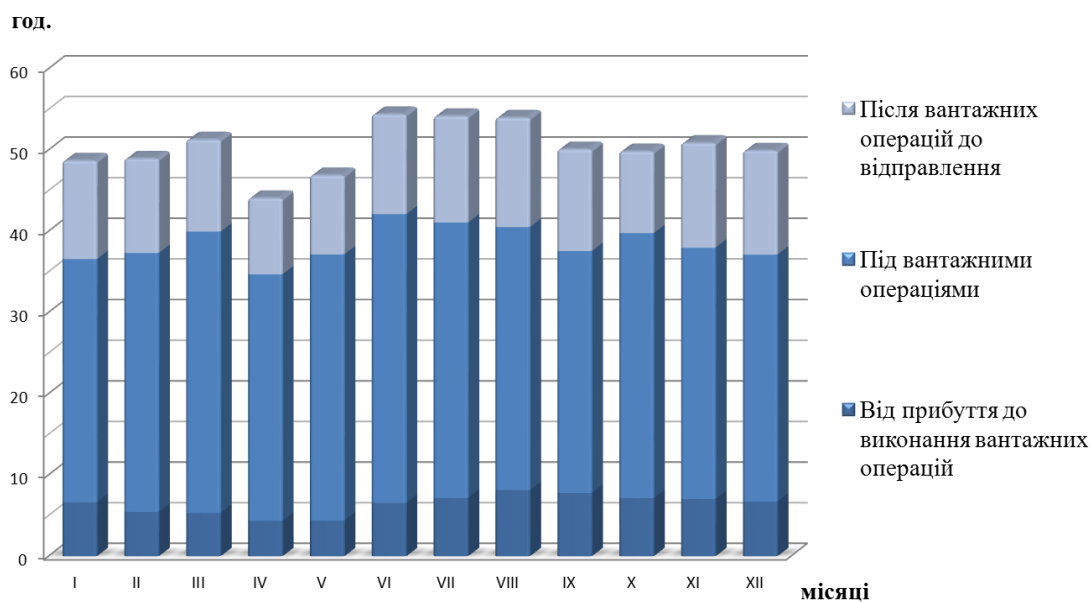


Рисунок 1.2 – Простої місцевих вагонів на припортових станціях України у 2018 році

Одна з головних причин цих простоїв полягає у недосконалості організації місцевої роботи у залізничних вузлах. На даний час рівень організації місцевої роботи у вузлах такий, що понад 60% часу перебування у вузлі місцеві вагони простоюють в очікуванні виконання технологічних операцій. При обслуговуванні місцевих вагонопотоків у залізничних вузлах великих адміністративно-промислових центрів тенденція збільшення величини простоїв триває роками.

Структура перевезень на адресу морських портів дещо відрізняється від структури загального вантажообігу по залізницях (рисунок 1.3). Основні види вантажів, що обробляються у морських портах, зумовлює спеціалізацію припортових вантажних станцій. Зазвичай це зерно, руди, нафта і нафтопродукти, кам'яне вугілля, чорні метали, хімічні і мінеральні добрива.

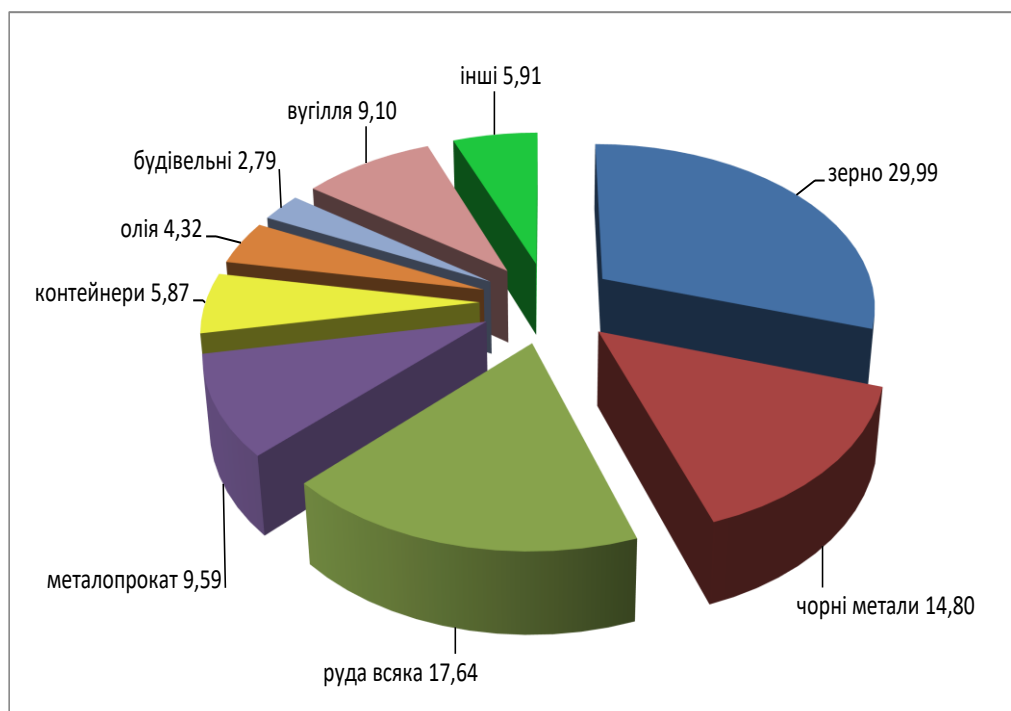


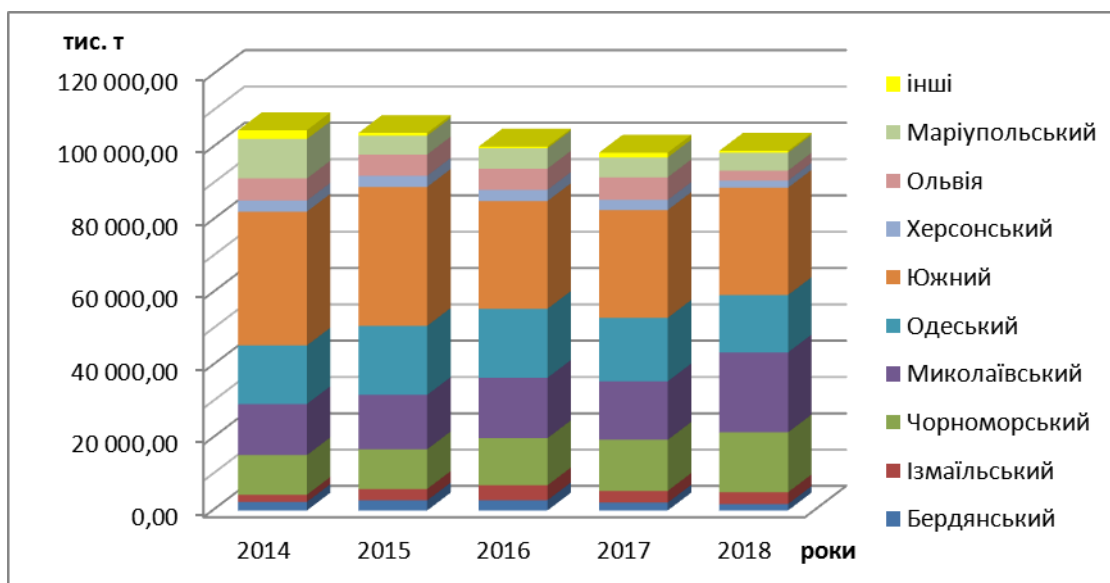
Рисунок 1.3 – Перевалка через морські порти України у 2018 році за родом вантажів, %

Підвищення обсягів переробки обумовлено у першу чергу збільшенням експорту з України (рисунок 1.4). Функціонування залізниць з огляду на їх поширеність територією України необхідно розглядати з урахуванням їх регіональних відмінностей.

На сьогодні стратегічно важливим є південно-західний напрямок транспортування, інтенсивні вантажо- і пасажиропотоки якого пов'язані з перевезенням імпортно-експортних вантажів з України.

При перевезенні експортних вантажів залізницею через морські порти, регулярно виникають затримки, що говорить про те, що гостро стоїть питання організації чіткої синхронної роботи усіх учасників перевізного процесу, які відповідають за просування торгових вантажів по мережам залізниць і відправлення їх на експорт.

а)



б)

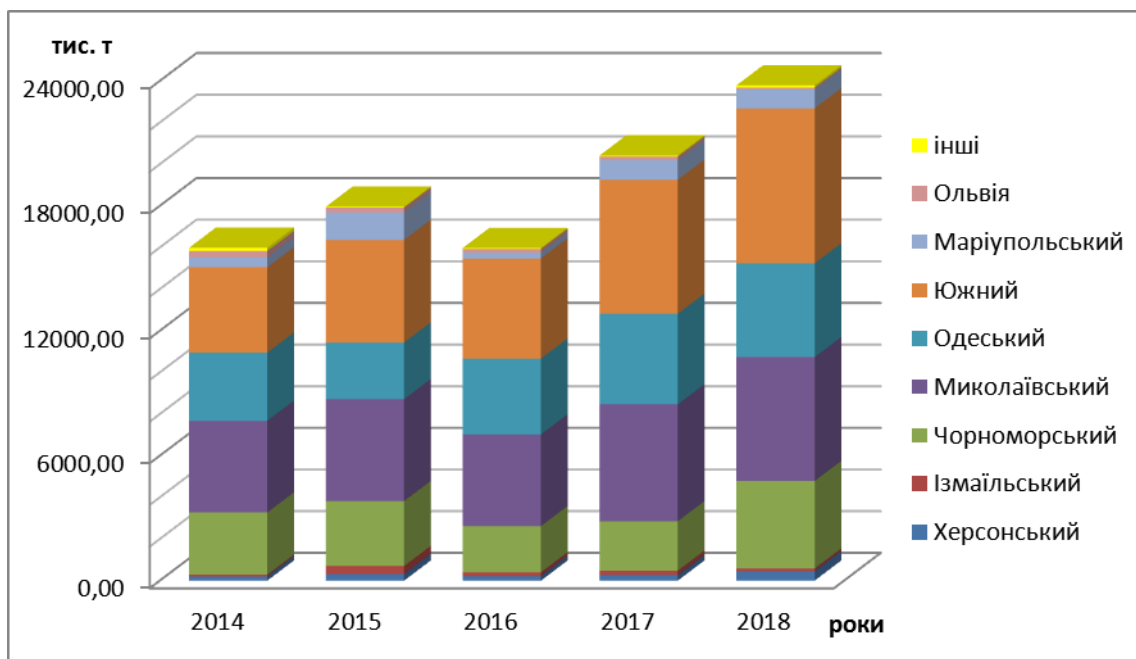
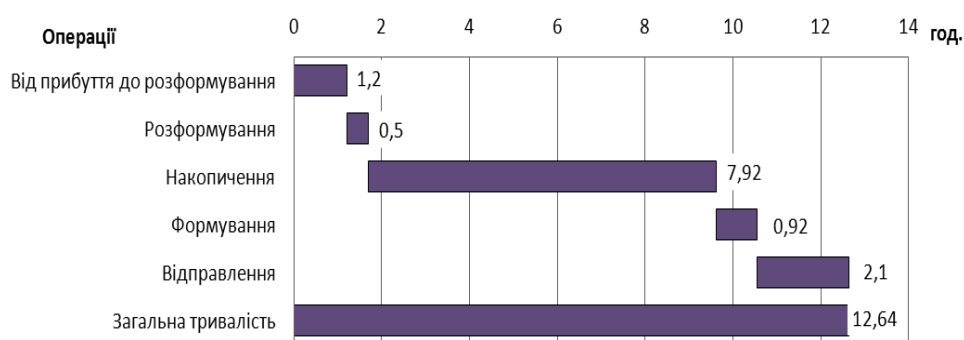


Рисунок 1.4 – Обсяги перевалки вантажів через морські порти України, тис. т: а) експортних, б) імпортних.

На рисунку 1.5 наведено графіки обробки вагонів з переробкою на сортувальній та припортовій вантажній станціях і значення технологічних простоїв. Як видно з рисунку, більше 60% загального часу перебування зазначених вагонів на сортувальній станції складає операція з накопичення вагонів на состав. Це свідчить про нерівномірне надходження вагонів з

вантажами, що зумовлює простой під час составоутворення, формування згущеного періоду прибуття і відправлення поїздів на станції, а отже, збільшення величини обороту вагона.

а)



б)

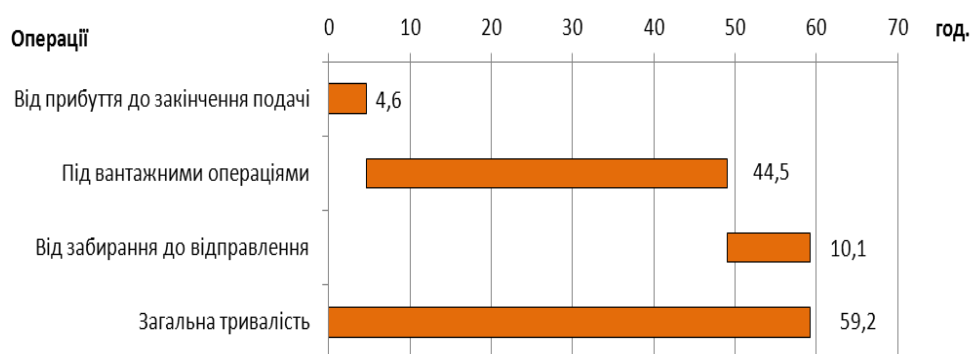


Рисунок 1.5 – Діаграма Ганта середньодобових простоїв вагонів з переробкою, год.: а) на сортувальній станції; б) на припортовій вантажній станції

Позитивна тенденція збільшення обсягу перевезень зумовлює ряд проблем у взаємодії залізничного і морського транспорту і, як наслідок, появу покинутих поїздів на підходах до припортових станцій.

На рисунку 1.6 наведено діаграму Ішикава, на якій представлено основні причини, що найбільш суттєво і негативно впливають на переробну спроможність припортових станцій. На підставі даної причинно-наслідкової діаграми можна зробити висновок про те, що



основними групами причин зниження переробної спроможності припортових вантажних станцій є проблеми з інфраструктурою та технічним оснащенням, неузгодженість дій учасників транспортного процесу, невідповідність технології роботи станцій сучасним вимогам транспортного ринку, недостатнє завантаження рухомого складу, форс-мажорні обставини.

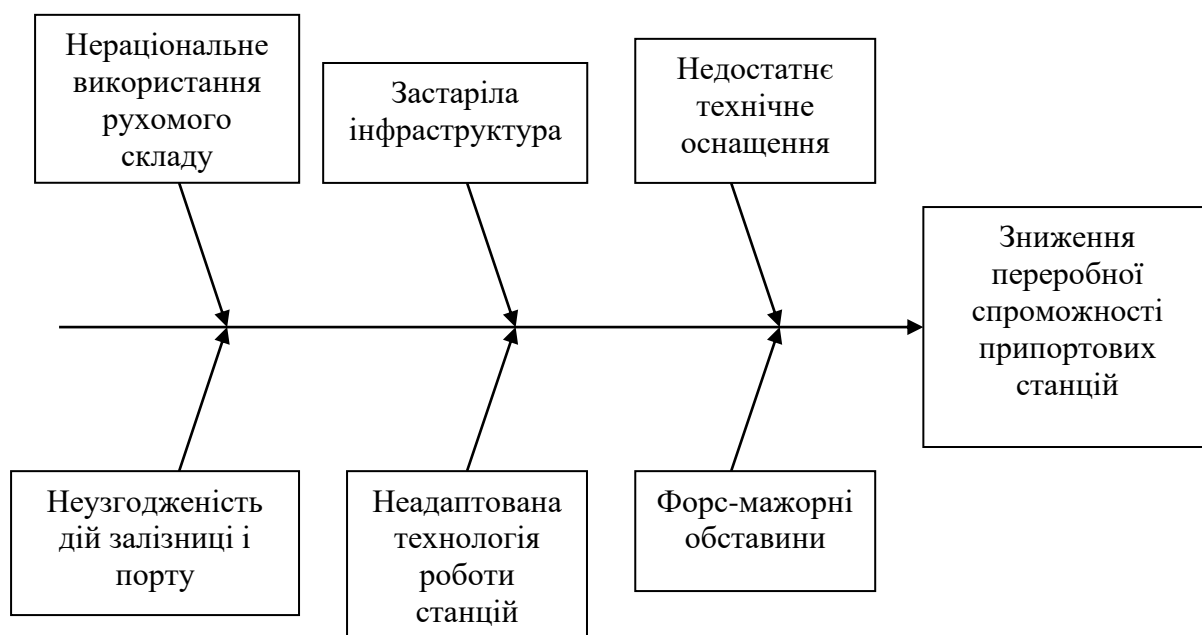


Рисунок 1.6 – Діаграма Ішикава причин зниження переробної спроможності припортових станцій

Детальний аналіз зазначених причин дає можливість пошуку шляхів підвищення переробної спроможності припортових вантажних станцій з урахуванням сучасних тенденцій на ринку транспортних послуг. У додатку А наведено зведену характеристику причин, представлених на рисунку 1.6, та фактори їх виникнення.

Як видно з таблиці А.1, злагодженість роботи залізничного транспорту і морських портів залежить від багатьох факторів: завантаженості напрямків, відповідальності учасників процесу вантажоперевезень і їх готовності вести діалог між собою, регулювання зовнішньої і внутрішньої політики виконання перевезень тощо. Збої, що

виникають на стиках «залізниця – порт», призводять до фінансових і виробничих втрат усіх учасників перевізного процесу.

Аналізуючи наведені фактори впливу на причини зниження переробної спроможності припортових станцій, можна зробити висновок, що усунення більшості з них вимагає значних капітальних вкладень як у парк рухомого складу та інфраструктуру станцій, так і на впровадження прогресивних технологій роботи об'єктів, що задіяні у процесах обробки вагонопотоків.

#### 1.4 Аналіз наукових досліджень щодо удосконалення технології роботи транспортних систем з обслуговування вагонопотоків

Залізнична транспортна мережа як система великої розмірності складається із багатьох функціональних підсистем. Об'єкти залізничного транспорту, які задіяні у переробці вагонопотоків, повинні забезпечити взаємозв'язок і взаємодію управління і технології роботи в умовах динамічності розвитку процесів, які відбуваються під впливом змінних зовнішніх факторів [10-11].

Організація вагонопотоків на мережі залізниць є складною комплексною задачею процесу перевезення, оскільки велика кількість станцій приймає участь у зародженні та погашенні вагонопотоків, а наявність множинних зв'язків у функціонуванні підприємств та організацій призводить до пошуку найефективніших рішень задачі просування вагонопотоків із зниженням собівартості перевезень серед безлічі варіантів [12-14].

Питаннями розвитку і удосконалення техніко-технологічної структури залізничних станцій займалися такі вчені, як О.А. Абрамов, В.І. Апатцев, Є.В. Архангельський, П.В. Бартенєв, Г.Я. Бройтман, С.П. Бузанов, І.І. Васильєв, С.В. Земблінов, А.М. Козлов, В.Д. Нікітін,

В.Н. Образцов, І.Е. Савченко, Н.К. Сологуб, Є.О. Сотніков, І.Б. Сотніков, Н.І. Федотов, Н.Н. Шабалін, В.О. Шаров, Ф.І. Шаульський та інші дослідники.

У подальшому дослідженням управління вагонопотоками і оптимізації технічного оснащення припортових станцій присвятили свої роботи науковці В.М. Акулінічев, К.А. Бернгард, В.І. Бобровський, В.Я. Болотний, Т.В. Бутько, Р.В. Вернигора, Є.О. Вєтухов, А.К. Головніч, П.С. Грунгов, М.І. Данько, Ю.І. Єфименко, І.В. Жуковицький, Д.В. Ломотько, В.І. Мацюк, Г.І. Музикіна, О.М. Огар, А.Т. Осьмінін, В.О. Персіанов, В.В. Повороженко, М.В. Правдін, С.М. Резер, К.Ю. Скалов, А.О. Сєхєхов, М.К. Сологуб, М.Ф. Трихунков, П.О. Яновський та інші.

Дослідженням у сфері раціональної організації залізничних перевезень вантажів у взаємодії з об'єктами інфраструктури морського транспорту приділяється багато уваги у закордонних наукових працях, досвід застосування яких відображається й у вітчизняних практичних і теоретичних розробках. У закордонних наукових роботах застосовуються економіко-математичні моделі, методи імітаційного моделювання, методи інтелектуальних технологій. Розвитком теорії у галузі обробки вантажопотоків у транспортних підсистемах, що обслуговують морські порти та місця незагального користування, займалися такі вчені, як M. Dror, M. Peschel, V. Roso, W. Hance, R. Palšaitis, I. Hansen, J. Woxenius, G. J. Peek, J.-C. Jong, L. Mussone [15-24].

Зі збільшенням обсягу перевезень на залізницях вплив внутрішніх факторів на роботу станцій стає більш помітним. Для з'ясування причин труднощів і розробки рекомендацій щодо їх усунення було проведено безліч теоретичних досліджень процесів на технічних станціях. Зокрема, встановлено ймовірнісні закономірності коливань розмірів поїздопотоків, тривалості обробки составів у парках, проведено дослідження з оптимізації технічних і технологічних параметрів станцій.

При системному підході до аналізу внутрішньостанційних процесів з урахуванням обмежень по колійному розвитку і потужності станційних пристроїв виявляються складні взаємозв'язки, що роблять істотний вплив на тривалість простою вагонів. Аналіз наукових досліджень [25-30] з питань удосконалення процесу обробки вагонопотоків на технічних станціях доводить:

- при розрахунку плану формування поїздів недостатньо враховується оснащеність станцій;

- зіставлення витрат вагоно-годин на станціях формування відбувається з економією вагоно-годин при прослідкуванні лише попутних технічних станцій без переробки вагонів;

- значна увага приділяється оптимізації процесу розформування составів з гірки і значно менше – пошуку ефективних рішень з раціонального розподілу сортувальної роботи між станціями та питанням составоутворення з урахуванням можливої повторної переробки вагонів у кінцевих пунктах прямування вагонів, особливо у пунктах перевалки з різних видів транспорту;

- методи розрахунків не враховують обмежень за переробною спроможністю кінцевих станцій, зокрема припортових, та наявність на них колій для розформування багатогрупних составів.

У роботі [31] запропоновано метод визначення маневрового обслуговування вантажних фронтів порту і спеціалізацію сортувальних колій припортової станції, у залежності від середньодобових вагонопотоків окремих призначень і інтервалу між подачами у порт на основі теорії ймовірностей.

У статті [32] для оцінки надійності доставки вантажів на Каспійсько-Чорноморському маршруті розглядається математична модель, що враховує тривалість вантажних операцій у пунктах відправлення та призначення, тривалість транспортування транспортного засобу на

відповідний елемент маршруту, середню тривалість перевантаження в пунктах стикування залізничного та морського транспорту.

У результаті аналізу розвитку світових мультимодальних перевезень та їх стану в Україні у роботі [33] дали можливість сформулювати основні шляхи усунення проблемних ділянок, а також визначити основні напрями для залучення обсягів транзиту, зокрема контейнерних потоків у мультимодальних перевезеннях.

Автором роботи [34] обґрунтовано укладання додаткової кількості колій у сортувальному парку для накопичення вагонів при нерівномірному їх надходженні за критерієм найменших приведених річних витрат.

Робота [35] присвячена підвищенню ефективності роботи вантажних станцій магістрального та промислового залізничного транспорту за рахунок удосконалення конструкції та розмірів їх колійного розвитку на основі науково обґрунтованих методів їх комплексної оцінки.

Вибір схеми обслуговування порту і розміщення залізничних пристроїв щодо порту залежать від декількох факторів. Найбільш важливими з них є вантажообіг порту, число і розташування вантажно-розвантажувальних фронтів у ньому.

Опорні сортувальні станції, як правило, є вузловими сортувальними станціями мережевого значення, на яких сконцентрована основна робота вузла по розформуванню і формуванню вантажних поїздів, передач на адресу вантажних припортовий станцій, промислових підприємств, у тому числі і у порт. Для обслуговування особливо великих морських портів можуть створюватися спеціальні портові сортувальні станції.

Обсяги робіт припортових станцій знаходяться у залежності від роботи станцій, що формують вагонопотоки на неї. Формування составів прямого призначення у конкретний район порту, сортування вагонів на менш завантажених станціях може значно знизити рівень завантаженості припортових станцій, що часто працюють при надмірному використанні технічних засобів, і зменшити простої вагонів як до подачі їх у порт, так і

безпосередньо у порту під вантажними операціями. Для принципового вирішення проблеми зменшення простоїв вагонів на припортових вантажних станціях та у портах необхідне створення єдиного інформаційного простору систем управління залізничним і морським транспортом на базі сучасних інформаційних технологій, а також оперативне узгодження навантаження і вивантаження вагонів з урахуванням можливості подавання вагонів на залізницю та у порти.

Обсяги сортувальної роботи з місцевими вагонами в пунктах зародження та погашення вантажопотоків досягають загальної переробки вагонопотоків на технічних станціях. Причому, технічні станції переробку здійснюють в основному за допомогою сучасних сортувальних пристроїв, у той час, як для детальної переробки місцевих вагонів на вантажних станціях переважно застосовуються звичайні витяжні колії. Значні витрати часу, маневрових засобів, розосередженість переробки місцевих вагонопотоків для більшості вузлів є основними причинами, що призводять до уповільнення просування вагонів і доставки споживачам вантажів. До теперішнього часу вченими виконано ряд досліджень, присвячених проблемі переробки місцевих вагонів у залізничних вузлах [8, 36-38]. У багатьох роботах пропонується концентрація переробки місцевих вагонів і їх детальне підбирання по вантажних фронтах на основній сортувальній станції вузла. Своєю більшістю дослідження носять теоретичний характер, їх реалізація дуже ускладнена. Реалізація пропозицій з концентрації переробки місцевих вагонів з детальним підбиранням їх по місцях вивантаження на допоміжних пристроях основної сортувальної станції вузла практично неможлива через умови відсутності вільних територій для спорудження допоміжних сортувальних парків для виконання місцевої роботи.

Таким чином, незважаючи на широке висвітлення питань взаємодії морського та залізничного видів транспорту, питання взаємодії опорних технічних і припортових вантажних станцій, а також розподілу експортних

вагонопотоків у найбільших залізничних вузлах, які наразі мають велике значення для припортових залізниць, недостатньо вивчені. У науковій літературі дослідження теорії і методології організації роботи опорних та припортових станцій найчастіше велися без урахування особливостей організації технологічного процесу на таких залізницях.

## 1.5 Висновки до розділу 1

1 Світова популярність перевезень вантажів через морські порти відчутно вплинула й на українську транспортну систему. Зростання вантажообігу українських морських портів пов'язано, у першу чергу, з розвитком портових потужностей. Згідно результатів останніх років, перевалка вантажів у морських портах Чорноморського басейну, які розширили свої експортні можливості, відрізняється інтенсифікацією перевантажувальних процесів.

2 Значна частка експортних вантажів доставляється у порти залізничним транспортом. Це викликає підвищення рівня технічного завантаження пристроїв залізничної інфраструктури, зокрема на припортових станціях, які наразі не справляються із існуючими обсягами перевезень, що зумовлює пошук рішень проблеми приведення у відповідність технічних та технологічних резервів припортових залізничних вузлів до сучасних темпів розвитку національної транспортної системи.

3 Зростання обсягів експортних вагонопотоків, які прямують через залізничні станції до портів, свідчить про доцільність удосконалення технології перевезень вантажів і перерозподілу сортувальної роботи у припортових вузлах, що дозволить збільшити переробну спроможність припортових вантажних станцій. Альтернативний варіант розширення станційних територій та технічних пристроїв на багатьох припортових

станціях є неможливим через значну наближеність портів і припортових станції до меж населених пунктів.

4 Питання взаємодії опорних технічних і припортових вантажних станцій, а також питання розподілу експортних вагонопотоків у найбільших залізничних вузлах мало вивчені. У науковій літературі дослідження теорії і методології організації роботи опорних та припортових станцій найчастіше велися без урахування особливостей організації технологічного процесу на залізницях, які впливають на загальний результат їх діяльності.

5 Аналіз розвитку ринкових відносин у транспортній галузі України показав, що зміна вимог до якості перевезень, які висуваються до залізничного транспорту, призводить до збільшення сортувальної роботи з місцевими вагонами у вузлах. Тому подальше підвищення ефективності перевізного процесу може бути досягнуто за рахунок удосконалення місцевої роботи крупних вузлів і, зокрема, з вагонопотоками у бік припортових вантажних станцій.



## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА КОМПЛЕКСУ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАГОНІВ НА СТАНЦІЯХ ПРИПОРТОВОГО ЗАЛІЗНИЧНОГО ВУЗЛА

#### 2.1 Обґрунтування вибору напрямку досліджень процесу обробки вагонів на станціях припортового залізничного вузла

Серед основних проблем, що на сьогодні необхідно вирішувати під час реформування залізничного транспорту, є питання необхідності залучення інвестицій в оновлення основних фондів, зміна системи управління залізничним транспортом та зниження витрат на транспортування вантажів. Останнє питання має декілька важливих аспектів, головними з яких є:

- зниження питомих витрат коштів і ресурсів на одиницю рухомого складу;
- необхідність вирішення завдань зниження витрат на комерційну і маневрову роботу;
- забезпечення високої якості та своєчасності виконання усіх робіт, що пов'язані з вантажоперевезеннями.

Значну частину всіх витрат по перевезенню вантажів складають витрати на навантажувально-розвантажувальні роботи при відповідних рівнях управління і планування [39]. Ефективне вирішення завдань, пов'язаних з названими аспектами, можливо лише при ефективній роботі сортувальних станцій, що формують основні вагонопотоки на адресу припортової станції, автоматизованому управлінні навантажувально-розвантажувальними роботами, раціоналізації виконання місцевої роботи, оперативному використанні усієї інформації про вантажі, що надходять.

На роботу сортувальних станцій значний вплив має невідповідність рівня їх технічного оснащення, особливо колійного розвитку, зростанню обсягів їх роботи та характеру вагонопотоків.

Вплив на технологію виконання операцій із складами поїздів і вагонами має нерівномірне надходження поїздів у переробку до сортувальної станції, де певний технологічний темп переробки вагонів залежить від наявної переробної спроможності сортувальних пристроїв і задіяних маневрових засобів. Якщо інтервал між розбірними поїздами, що надходять у переробку, більше гіркового технологічного інтервалу, то створюється резерв у використанні маневрових засобів і сортувальних пристроїв. Якщо інтервал прибуття менше гіркового технологічного інтервалу, то цей резерв швидко зменшується.

До того ж, через великі непродуктивні простої і при зайнятості усіх колій приймання на вантажних станціях, виникають ситуації неможливості прийняти розбірні поїзди, які простоюють у вхідного світлофора, або їх вимушено залишають на сусідніх станціях.

Таким чином, необхідно організувати роботу на сортувальній станції таким чином, щоб тривалість знаходження вагонів на станційних коліях була мінімальною.

Одним з важливих резервів скорочення простоїв вагонів на вантажних станціях є скорочення тривалості переробки вагонопотоків, які надходять з сортувальних станцій, у результаті зменшення числа груп вагонів, що проходять повторний підбір по вантажним фронтам станції та порту. Відомо, що швидкість розпуску складів на сортувальній гірці знаходиться у зворотній залежності від числа відчепів у ньому, тому величина відчепу суттєво впливає на тривалість операцій з розформування-формування поїздів. Більш детальний підбір груп вагонів окремо по вантажних фронтах при здійсненні сортувальної роботи на сортувальній станції дозволить скоротити тривалість переробки вагонів на вантажній станції.

У свою чергу, це суттєво прискорить переробку вагонопотоків внаслідок того, що збільшиться середня величина відчепу на вантажній станції, оскільки сортування вагонів буде проводитись лише за коліями призначення кожного відчепу, а не кожного вагону окремо.

Запропоновано впровадження удосконалення технології обробки вагонопотоків призначенням у морські порти на основі зміни існуючого розподілу сортувальної роботи між станціями та удосконалення станційних технологічних процесів. Для скорочення тривалості знаходження вагонів на припортовій вантажній станції за рахунок виключення необхідності повторної їх переробки запропоновано технологію обробки місцевих вагонів шляхом виділення пріоритетних вагонопотоків серед загального обсягу вагонів призначенням у морські порти та подальшого підбирання з них передач вагонів на вантажні фронти порту на виділених коліях сортувальному парку опорної сортувальної станції.

Під пріоритетним вагонопотоком слід розуміти вагонопотік, відібраний із загального вагонопотоку, для обробки за пріоритетною технологією на сортувальній станції з урахуванням потужності призначень та кількості сортувальних колій станції для формування передач та з урахуванням інформації про підхід суден до порту. Це дасть можливість скоротити непродуктивний час в очікуванні виконання технологічних операцій, зменшити тривалість виконання тих технологічних операцій на вантажній станції, які залежать від числа та порядку постановки вагонів у составі.

Оскільки при впровадженні вказаної технології збільшуються обсяги сортувальної роботи на сортувальній станції, запропоновано для виконання операцій з формування передавальних поїздів на даній станції використовувати маневрові локомотиви підсистеми формування припортової вантажної станції.

2.2 Формалізація технології функціонування транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» та розробка математичної моделі оптимізації продуктивності роботи локомотивів

Серед об'єктів транспортної галузі, задіяних у процесі міжнародних вантажоперевезень, потребує дослідження транспортна підсистема «сортувальна станція – припортові вантажні станції – районні парки порту» (СС-ВС-РП), що спеціалізована для обробки вагонів призначенням у морський порт та є складовою загальної залізничної транспортної системи.

Під транспортною підсистемою СС-ВС-РП розуміється технологічно узгоджений комплекс організаційних транспортних структур та технічних пристроїв з переробки та переміщення вагонопотоків, об'єктами якої є опорна сортувальна станція, припортові вантажні станції та районні парки морського порту. Оптимізація основних конструктивно-технологічних параметрів вказаної підсистеми дозволить підвищити ефективність її функціонування та зменшити непродуктивні простої місцевих вагонів, у тому числі міжнародного призначення.

Оскільки проблема скорочення непродуктивного простою вагонів, і, як наслідок, мінімізації витрат ресурсів, відноситься до усіх структурних підрозділів даної підсистеми, то проблема у територіальному, функціональному, та технологічному відношенні охоплює сукупність усіх об'єктів.

Така підсистема є штучною діючою технологічною підсистемою, структура якої визначається технологією роботи об'єктів залізничного транспорту, що входять до її складу та визначених нижче. Елементами цієї підсистеми є процеси, під якими слід розуміти послідовну зміну операцій. Зв'язками у даній підсистемі виступають властивості об'єктів або сигнали, що передаються від операції до операції [40-43].

З огляду на визначеність підсистеми, що розглядається, необхідно виділити наступні її об'єкти:

- опорна сортувальна станція;
- припортова вантажна станція.

Оскільки порт розглядається лише з позиції одного з кінцевих пунктів прямування вагонопотоків у процесі їх обробки, доцільним є виділення його лише як окремого елемента підсистеми.

Кожний з об'єктів має необхідну технічну базу для здійснення належного функціонування підсистеми у цілому. Операції, що проводяться з вагонами, виконуються у кожному об'єкті підсистеми послідовно або паралельно та можуть бути однотипними для декількох об'єктів та елементів (наприклад, виконання технічних та комерційних операцій на сортувальній та припортовій вантажній станції).

Для формалізації процесу функціонування транспортної підсистеми необхідно внести наступні припущення:

- для обробки розглядаються тільки ті вантажні поїзди, що у своєму складі мають вагони, призначені для виконання вантажних операцій на припортових станціях або у порту;
- надходження поїздів на станції є недетермінованим і відбувається під впливом випадкових факторів;
- вантажні поїзди надходять на вантажні станції у розформування тільки з сортувальної станції;
- вагони з розформованих составів на припортових станціях розподіляються у порт та на вантажні фронти станцій;
- основними пристроями припортових вантажних станцій є приймально-відправні колії; сортувальні пристрої, сортувальний парк (за наявності); вантажні фронти станції; з'єднувальні колії і районний парк порту.

Підсистема, що розглядається, є динамічною, оскільки вона постійно змінюється. Також підсистема є відкритою, має структурні функціональні

зв'язки з об'єктами та керуючі механізми (управлінські апарати кожної станції та порту, які знаходяться у певній взаємодії між собою), через які структура цілого впливає на характер функціонування об'єктів, яке, у свою чергу, здійснюється на основі існуючої технології роботи сортувальної та вантажної станцій та морського порту.

Основні властивості складових підсистеми визначаються закономірностями, структурою цілого. Необхідною умовою стійкості даної підсистеми є постійне відновлення її елементів, що проявляється у надходженні і відправленні вагонопотоків, які підлягають обробці у кожному об'єкті. Гнучка пристосованість об'єктів до виконання команд керуючого механізму заснована на тому, що об'єкти підсистеми функціонують імовірнісним образом і мають певне число ступенів свободи [44].

Для дослідження функціонування підсистеми необхідно сформувати математичну модель, що відображає взаємодію усіх її об'єктів, виходячи із загальних припущень про характер її функціонування. Такими характерними ознаками даної підсистеми є наступні:

- підсистема функціонує у часі;
- на вхід підсистеми можуть надходити вхідні сигнали;
- підсистема має внутрішні характеристики, що залежать від керованих і некерованих вхідних параметрів;
- підсистема спроможна видавати вихідні сигнали;
- внаслідок зміни певних факторів може відбуватися структурна перебудова підсистеми;
- у підсистемі існує множина параметрів керування, зміна яких впливає на ефективність її роботи.

У кожен момент часу підсистема може перебувати в одному з можливих своїх станів. Процес функціонування відбувається як послідовна зміна станів підсистеми під дією зовнішніх і внутрішніх впливів.

Початковим станом підсистеми,  $S_0(t)$ , є множина таких параметрів та змінних:

- кількість колій у сортувальному парку сортувальної станції ( $n_s$ );
- кількість колій у парку приймання сортувальної станції ( $n_p$ );
- кількість приймально-відправних колій на припортовій вантажній станції ( $n_{pv}$ );
- загальна кількість ( $M_m^c$ ) і тип ( $p_m^c$ ) маневрових локомотивів, що обслуговують сортувальну станцію;
- кількість ( $M_m^e$ ) і тип ( $p_m^e$ ) маневрових локомотивів, що обслуговують вантажну станцію;
- вартість 1 кг дизельного пального ( $e_n$ );
- вартість 1 кВт-год. електроенергії ( $e_{en}$ );
- вартість 1 ваг.-год. простою вагонів на сортувальній ( $e_{np}^{cc}$ ) та на вантажній ( $e_{np}^{ec}$ ) станціях;
- кількість причалів у порту, що обслуговуються залізницею ( $b$ ), та кількість ( $f_1, f_2, \dots, f_b$ ) і довжина вантажних фронтів ( $l_1, l_2, \dots, l_b$ ) на таких причалах;
- відстань між сортувальною і вантажною станціями ( $L_{ce}$ );
- тип вивізних локомотивів, що працюють на ділянці між сортувальною і вантажною станціями ( $p_e^{ce}$ ).

Стан підсистеми СС-ВС-РП у момент часу  $t$  можна записати у наступному вигляді

$$S(t) = h(S_0(t); t; U(t); V(t); P(t); Z(t)), \quad (2.1)$$

де  $h$  – вектор стану підсистеми;

$S_0(t)$  – початковий стан підсистеми;

$U(t)$  – керовані вхідні сигнали підсистеми;

$V(t)$  – некеровані вхідні сигнали підсистеми;

$P(t)$  – множина параметрів керування підсистеми;

$Z(t)$  – внутрішні характеристики підсистеми, що залежать від  $U(t)$  і  $V(t)$ .

Єдиним керованим впливом на транспортну підсистему,  $U(t)$ , є кількість маневрових локомотивів сортувальної станції, задіяних для виконання обробки вагонів за пріоритетною технологією,  $M_m^{cc1n}(t)$ . Це пов'язано з тим, що застосування маневрових локомотивів для виконання пріоритетної технології серед загального числа тих, що обслуговують сортувальну станцію, обґрунтовується рівнем завантаження кожного локомотива при виконанні кожної технології.

Множину некерованих, тобто зовнішніх, впливів,  $V(t)$ , складають: загальна інтенсивність надходження вагонів на сортувальну станцію ззовні підсистеми ( $\lambda_c(t)$ ) та інтенсивність надходження на сортувальну станцію вагонів призначенням на 1, 2, ...,  $b$  причали порту ( $\lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_b(t)$ ).

Серед внутрішніх характеристик підсистеми,  $Z(t)$ , що залежать від керованих і некерованих вхідних параметрів, слід виділити наступні:

$$Z(t) = (\rho_M^{cc}(t), \rho_M^{gc}(t), \rho_s(t), a(t), n_s^{vil}(t)), \quad (2.2)$$

де  $\rho_M^{cc}(t), \rho_M^{gc}(t)$  – рівень навантаження маневрових локомотивів відповідно на сортувальній та вантажній станціях;

$\rho_s(t)$  – рівень завантаження сортувальних колій на сортувальній станції;

$a(t)$  – кількість причалів для вагонів пріоритетного напрямку;

$n_s^{vil}(t)$  – кількість вільних сортувальних колій сортувальної станції у момент часу  $t$ .



Вихідними параметрами підсистеми СС-ВС-РП є множина параметрів

$$Y(t) = (g_n^{1n}(t), g_n^{2n}(t), g_{el}^{1n}(t), g_{el}^{2n}(t), t_{np}^{cc1n}(t), t_{np}^{ec1n}(t), t_{np}^{cc2n}(t), t_{np}^{ec2n}(t)), \quad (2.3)$$

де  $g_n^{1n}(t), g_n^{2n}(t)$  – витрати дизельного пального при перевезенні вагонів відповідно пріоритетного та загального потоків з сортувальної станції на вантажну, грн.;

$g_{el}^{1n}(t), g_{el}^{2n}(t)$  – витрати електричної енергії при перевезенні вагонів відповідно пріоритетного та загального потоків з сортувальної станції на вантажну, грн.;

$t_{np}^{cc1n}(t), t_{np}^{ec1n}(t)$  – середня тривалість простою вагонів з пріоритетною переробкою відповідно на сортувальній та припортовій вантажній станціях, год.;

$t_{np}^{cc2n}(t), t_{np}^{ec2n}(t)$  – середня тривалість простою вагонів за традиційною технологією відповідно на сортувальній та припортовій вантажній станціях, год.

Значення вихідних параметрів,  $Y(t)$ , залежать від значень вхідних впливів,  $U(t)$  і  $V(t)$ , внутрішніх характеристик підсистеми,  $Z(t)$ , і параметрів керування,  $P(t)$ . Таким чином, виходячи із принципів системного підходу, закон функціонування підсистеми СС-ВС-РП буде мати наступний вигляд

$$Y(t) = H^\circ(t, S_0, Z(t), P(t), U(t), V(t), R(t)), \quad (2.4)$$

або

$$Y(t) = H^\circ \left( t, S_0, \rho_M^{cc}(t), \rho_M^{ec}(t), \rho_s(t), c(t), a(t), n_s^{бил}(t), k_1(t), n_{nep}^{1n}(t), m_{gaz}^{1n}(t), n_{nod}^{2n}(t), m_{gaz}^{2n}(t), m_{ce}^{1n}(t), m_{ce}^{2n}(t), M_{ce}^{1n}(t), M_{ce}^{2n}(t), \lambda_c(t), \lambda_1(t), \lambda_2(t), \dots, \lambda_b(t), R(t) \right), \quad (2.5)$$

де  $H^\circ$  – оператор виходу;

$R(t)$  – вектор структурної перебудови;

$S_0 = (n_s, n_p, n_{pv}, M_m^{cc}, p_m^{cc}, M_m^{6c}, p_m^{6c}, e_n, e_{np}^{cc}, e_{np}^{6c}, b, f_1, f_2, \dots, f_b, l_1, l_2, \dots, l_b, L_{c6}, p_6^{c6})$ .

Параметрами структурної перебудови можуть виступати: кількість колій у сортувальному парку сортувальної станції, виділені для обробки пріоритетного вагонопотоку ( $n_s^{1n}$ ); кількість маневрових локомотивів сортувальної станції для обробки загального вагонопотоку ( $M_m^{cc 2n}$ ).

Структурна перебудова підсистеми може відбуватися внаслідок зміни таких факторів: обсягів і характеру вагонопотоків, що надходять у підсистему ззовні; вартості простою вагонів на технічних і вантажних станціях; кількості причалів у порту, що обслуговуються залізницею; кількості і довжини вантажних фронтів на таких причалах.

Параметрами керування, зміна яких впливає на ефективність роботи підсистеми, виступає множина

$$P(t) = (n_{nep}^{1n}(t), m_{6az}^{1n}(t), n_{nod}^{2n}(t), m_{6az}^{2n}(t)), \quad (2.6)$$

де  $n_{nep}^{1n}(t), m_{6az}^{1n}(t)$  – відповідно число та величина передач вагонів пріоритетного потоку на адресу порту, сформованих на сортувальній станції;

$n_{nod}^{2n}(t), m_{6az}^{2n}(t)$  – відповідно число та величина подач вагонів загального потоку на адресу порту, сформованих на сортувальній станції.

Як відзначалося вище, підвищення якості функціонування підсистеми може бути забезпечено шляхом зміни таких параметрів, як  $n_{nep}^{1n}(t), m_{6az}^{1n}(t), n_{nod}^{2n}(t), m_{6az}^{2n}(t)$ . Елементарним періодом часу, для якого потрібно розраховувати поточні раціональні конструктивно-технологічні параметри підсистеми ( $t_p$ ), може бути період, що відповідає тривалості оперативного

планування роботи на технічних станціях (4-6 год.), який залежить від часу надання попередньої інформації про характер, структуру й обсяги вагонопотоків, що надходять на станцію.

Визначення раціональних параметрів процесу обробки вагонів у транспортній підсистемі необхідно здійснювати за умови максимізації продуктивності маневрових локомотивів ( $W$ ), що використовуються на СС для виконання технологічних операцій з формування груп вагонів призначенням на вантажні фронти, за розрахунковий період  $t_p$

$$W = \frac{\sum_{i=1}^{n_{пер}^{1n}} m_{вазi}^{1n} + \sum_{j=1}^{n_{под}^{2n}} m_{вазj}^{2n}}{M_{cc} (t_p - t_{ек})} \rightarrow max, \quad (2.7)$$

при дотриманні наступних умов:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 0 \leq M_{cc} \leq M_{заг} - M_{вс}^{\min}; & \\ \rho_{\min}^{МЛ} \leq \rho_1^{cc} \leq \rho_{\max}^{МЛ}; & \rho_{\min}^{МЛ} \leq \rho_1^{6C} \leq \rho_{\max}^{МЛ}; \\ \dots; & \dots; \\ \rho_{\min}^{МЛ} \leq \rho_{M_{cc}}^{cc} \leq \rho_{\max}^{МЛ}; & \rho_{\min}^{МЛ} \leq \rho_{M_{вс}^{\min}}^{6C} \leq \rho_{\max}^{МЛ}, \end{array} \right. \quad (2.8)$$

де  $M_{cc}$  – потрібне число маневрових локомотивів у підсистемі формування СС для виконання обсягів роботи з формування составів;

$t_{ек}$  – тривалість екіпірування маневрових локомотивів протягом розрахункового періоду, год.;

$M_{заг}$  – загальне число маневрових локомотивів у підсистемах формування СС та ВС;

$M_{вс}^{\min}$  – мінімально необхідне число маневрових локомотивів на припортовій ВС для забезпечення виконання поточного обсягу робіт;

$\rho_1^{cc}, \rho_2^{cc}, \dots, \rho_{M_{cc}}^{cc}$  – рівень завантаження відповідно 1,2,...,  $M_{cc}$  маневрових локомотивів;

$\rho_{\min}^{M,L}, \rho_{\max}^{M,L}$  – відповідно мінімально та максимально можливе значення рівня завантаження маневрових локомотивів у підсистемі формування станцій.

Рішення зазначеної оптимізаційної задачі проводиться методом спрямованого перебору варіантів [45, 46] на основі результатів імітаційного моделювання процесу функціонування транспортної підсистеми СС-ВС-РП у середовищі мереж Петрі, наведених у розділі 3.

### 2.3 Формування математичної моделі оптимізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі «сортувальна станція –вантажні станції – районні парки порту»

Тривалість знаходження вагонів на станціях складається з тривалості виконання безпосередньо технологічних операцій та тривалості очікування виконання цих операцій. Для скорочення тривалості знаходження вагонів на станціях перш за все необхідно скоротити непродуктивні простої в очікуванні операцій за рахунок удосконалення технології роботи станцій та перерозподілу роботи між станціями, що задіяні в обробці одних і тих же вагонопотоків. Однією з причин виникнення таких непродуктивних елементів простою є необхідність повторної переробки вагонів на станціях, які є кінцевим пунктом прямування вагонів.

На сьогодні системи управління об'єктами з обробки вагонопотоків є недостатньо ефективними, оскільки технологія взаємодії між ними здійснюється на основі єдиних технологічних процесів роботи припортових станцій та портів без урахування характеру та обсягів вантажопотоків, що надходять на адресу портів. Це стає причиною неорганізованого руху вантажопотоків у системі і відсутності обґрунтування розподілу робіт між технічними потужностями. Крім того,

з'являються випадки зустрічного руху потоків або нерациональної їх організації.

Згідно [47] сортувальну роботу слід максимально концентрувати на найбільш технічно оснащених сортувальних станціях вузла, скорочуючи обсяги повторної переробки вагонів на наступних станціях. Особливо актуальним це є для організації вагонопотоків у тих районах місцевої роботи, які обробляються на безгіркових вантажних станціях.

Для удосконалення підходу до розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків призначенням у морські порти у підсистемі СС-ВС-РП слід визначити заходи з підвищення ефективності технології обробки вагонопотоків, що будуть застосовані у підсистемі, для чого необхідно створити математичну модель, яка б відображала величину ефективності зазначених заходів.

У якості критерію оптимальності моделі слід прийняти експлуатаційні витрати на обробку вагонопотоків у транспортній підсистемі СС-ВС-РП. Підвищення ефективності процесу обробки вагонопотоків у підсистемі засновано на пріоритетності обробки та раціональному розподілі роботи між сортувальною та прилеглими припортовими станціями.

В якості керуючих параметрів виступають параметри, визначені у пункті 2.2, – число  $i$  величина передач вагонів на адресу порту, сформованих на СС за пріоритетною технологією, та число  $i$  величина подач вагонів, сформованих на СС за діючою технологією. Розрахунок параметрів процесу обробки вагонопотоків у підсистемі буде відбуватися при застосуванні виразів-рівнянь залежності кожного виду долі експлуатаційних витрат від визначених параметрів управління.

Процес обробки вагонопотоків у підсистемі СС-ВС-РП складається з трьох основних етапів: обробка на сортувальній станції, на припортовій вантажній станції та передача вагонів у порт.

При надходженні загального вагонопотоку  $K$ , що у процесі переробки на сортувальній станції буде адресовано на припортову вантажну станцію, має ділитися на пріоритетний ( $K_1$ ) та звичайний ( $K_2$ ). Під пріоритетним вагонопотоком слід розуміти той, що виділяється в окремий напрямок обробки і складається з вагонів на адресу вантажних фронтів причалів порту з великими обсягами переробки. Виділення пріоритетного вагонопотоку забезпечує прискорення процесу доставки вагонів під навантаження на судна, зменшує простій суден в очікуванні навантаження та дефіцит порожніх вагонів на залізницях України, який спостерігається в останні роки [2].

При переробці вагонів на сортувальній станції слід виділити окремі колії сортувального парку для накопичення подач вагонів пріоритетної обробки призначенням на окремі причали порту, на яких після виконання розформування составів сформувати готові передачі вагонів та відправляти у складі передавальних поїздів на вантажну припортову станцію. Решта вагонопотоку, що був перероблений на сортувальній станції, слід обробляти згідно існуючої технології роботи станції.

Такий порядок пріоритетної обробки вагонів дає можливість скоротити тривалість знаходження цих вагонів на вантажній станції, виключаючи необхідність повторної їх переробки для детального підбору за причалами у районних парках, особливо за відсутності гіркових сортувальних пристроїв на станції. Це дає можливість перестановки подач з-під составу у парку приймання безпосередньо у районні парки, що дозволить скоротити непродуктивний час в очікуванні виконання технологічних операцій з вагонами з моменту закінчення технічного огляду та розмітки вагонів у парку приймання до моменту подавання груп вагонів у районні парки, а також зменшити тривалість виконання тих технологічних операцій на вантажній станції, які залежать від числа та порядку постановки вагонів у составі. До таких операцій слід віднести розмітку вагонів за причалами у парку приймання, що займає близько 33%

тривалості обробки складу передавального поїзда по прибутті, підбирання груп вагонів по причалам (ця операція фактично буде зводитись до підбирання укрупнених груп вагонів по окремим причалам або вантажним фронтам причалів), розстановку вагонів у районних парках, перестановку вагонів по окремим вантажним фронтам причалів.

З метою пошуку ефективних рішень по організації руху вагонопотоків представимо процес обробки вагонів призначенням у морські порти у вигляді математичної моделі.

Задача раціоналізації процесу обробки вагонопотоків є задачею вибору таких параметрів технології, які б забезпечували виконання заданих обсягів перевезень з високим рівнем якості і мінімальними витратами часу та матеріальних ресурсів за заданий період планування.

Модель транспортної підсистеми має відображати особливості процесу руху вагонопотоків від моменту їх надходження на сортувальну станцію до моменту виходу з підсистеми, під яким розуміється подача вагонів з припортової станції у районні парки портів.

Враховуючи те, що запропонована технологія обробки вагонопотоків охоплює тривалість знаходження вагонів призначенням на вантажні fronti порту з моменту закінчення розпуску складів на сортувальній станції до моменту подавання вагонів з вантажної станції у районні парки порту, до подальшого розгляду функціонування підсистеми СС-ВС-РП приймаємо ті параметри, що відносяться безпосередньо до вказаного періоду знаходження вагонопотоків у підсистемі.

Оптимізаційна модель для розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні fronti базується на мінімізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів у підсистемі за рахунок застосування їх пріоритетності з моменту закінчення розпуску складів на СС до моменту передачі груп вагонів у районні парки портів:

$$\begin{aligned}
E = & e_{np}^{cc} \left( \sum_{i=1}^a t_{np\ i}^{cc\ 1n} (n_{nep}^{1n}, m_{\text{газ}}^{1n}, n_{\text{нод}}^{2n}, m_{\text{газ}}^{2n}) + \sum_{j=1}^b t_{np\ j}^{cc\ 2n} (n_{nep}^{1n}, m_{\text{газ}}^{1n}, n_{\text{нод}}^{2n}, m_{\text{газ}}^{2n}) \right) + \\
& + e_{np}^{sc} \left( \sum_{f=1}^c t_{np\ f}^{sc\ 1n} (n_{nep}^{1n}, m_{\text{газ}}^{1n}, n_{\text{нод}}^{2n}, m_{\text{газ}}^{2n}) + \sum_{h=1}^d t_{np\ h}^{sc\ 2n} (n_{nep}^{1n}, m_{\text{газ}}^{1n}, n_{\text{нод}}^{2n}, m_{\text{газ}}^{2n}) \right) + \\
& + e_n (g_n^{1n} (n_{nep}^{1n}, m_{\text{газ}}^{1n}) + g_n^{2n} (n_{\text{нод}}^{2n}, m_{\text{газ}}^{2n})) + \\
& + e_{el} (g_{el}^{1n} (n_{nep}^{1n}, m_{\text{газ}}^{1n}) + g_{el}^{2n} (n_{\text{нод}}^{2n}, m_{\text{газ}}^{2n})) \rightarrow \min,
\end{aligned} \tag{2.9}$$

де  $e_{np}^{cc}$  – вартість простою транзитного вагону з переробкою на СС, грн.;

$t_{np\ i}^{cc\ 1n}, t_{np\ j}^{cc\ 2n}$  – доля загальної тривалості простою на СС вагонів відповідно потоків за пріоритетною технологією обробки та за діючою, год.;

$a, b$  – кількість технологічних операцій, у тому числі міжопераційних простоїв, на СС з вагонами відповідно потоків за пріоритетною технологією обробки та за діючою;

$n_{nep}^{1n}, m_{\text{газ}}^{1n}$  – відповідно число та величина передач вагонів на адресу порту, сформованих на СС за пріоритетною технологією;

$n_{\text{нод}}^{2n}, m_{\text{газ}}^{2n}$  – відповідно число та величина подач вагонів, сформованих на СС за діючою технологією;

$e_{np}^{sc}$  – вартість простою вагонів на ВС, грн;

$t_{np}^{sc\ 1n}, t_{np}^{sc\ 2n}$  – тривалість простою на ВС вагонів відповідно потоків за пріоритетною технологією обробки та за діючою, год.;

$c, d$  – кількість технологічних операцій на ВС, у тому числі міжопераційних простоїв, відповідно з вагонами потоків за пріоритетною технологією обробки та за діючою;

$e_n$  – вартість дизельного палива, грн/кг;

$g_n^{1n}, g_n^{2n}$  – доля витрат дизельного палива при виконанні технологічних операцій у підсистемі СС-ВС-РП відповідно з вагонопотоками за пріоритетною технологією обробки та за діючою, кг;



$e_{el}$  – вартість електроенергії, грн/кВт;

$g_{el}^{1n}, g_{el}^{2n}$  – доля витрат електроенергії локомотивами ВС при виконанні технологічних операцій у підсистемі СС-ВС-РП відповідно з вагонопотоками за пріоритетною технологією обробки та за діючою, кВт.

Задача вирішується при обмеженнях за допустимими обсягами вагонопотоків для обробки за пріоритетною та за діючою технологією, а також за умовною місткістю вантажних фронтів на причалах порту:

$$\begin{cases} n_{nep}^{1n \min} \leq n_{nep}^{1n} \leq n_{nep}^{1n \max}; \\ m_{ваг}^{1n \min} \leq m_{ваг}^{1n} \leq m_{ваг}^{1n \max}; \\ n_{под}^{2n \min} \leq n_{под}^{2n} \leq n_{под}^{2n \max}; \\ m_{ваг}^{2n \min} \leq m_{ваг}^{2n} \leq m_{ваг}^{2n \max}, \end{cases} \quad (2.10)$$

$$n_{nep}^{1n \min} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_1 \geq 1; \end{cases}$$

$$n_{nep}^{1n \max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ K_1, & \text{якщо } K_1 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{1n} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_1 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{1n \max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_1 = 0, \\ K_1, & \text{якщо } 1 \leq K_1 < \sum_{i=1}^{n_{фр}} l_{фр i}, \\ \sum_{i=1}^{n_{фр}} l_{фр i}, & \text{якщо } K_1 \geq \sum_{i=1}^{n_{фр}} l_{фр i}; \end{cases}$$

$$n_{под}^{2n \min} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_2 \geq 1; \end{cases}$$

$$n_{под}^{2n \max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ K_2, & \text{якщо } K_2 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{2n \min} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ 1, & \text{якщо } K_2 \geq 1; \end{cases}$$

$$m_{ваг}^{2n \max} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } K_2 = 0, \\ K_2, & \text{якщо } 1 \leq K_2 < \sum_{j=1}^{n_{фр}} l_{фр j}, \\ \sum_{j=1}^{n_{фр}} l_{фр j}, & \text{якщо } K_2 \geq \sum_{j=1}^{n_{фр}} l_{фр j}, \end{cases}$$

де  $K_1, K_2$  – обсяги обробки вагонопотоків відповідно за пріоритетною технологією та за діючою;

$n_{\text{фр}}$  – число фронтів на причалах порту, на які формуються передачі і подачі вагонів;

$l_{\text{фр } i}, l_{\text{фр } j}$  – місткість вантажних фронтів на причалах порту, на які формуються відповідно передачі і подачі вагонів, ум. ваг.

Доля витрат дизельного палива при виконанні технологічних операцій у підсистемі СС-ВС-РП відповідно з вагонопотоками  $K_1$  і  $K_2$ , кг, визначається як сума витрат по кожному з наступних етапів обробки вагонопотоків

$$\begin{aligned} g_n^{1n} &= g_n^{cc1n} + g_n^{cc-ec1n} + g_n^{pn1n}, \\ g_n^{2n} &= g_n^{ec2n} + g_n^{cc-ec2n} + g_n^{pn2n}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

– при формуванні подач вагонів потоку  $K_1$  на сортувальній станції

$$g_n^{cc1n} = b_n^{cc} \sum_{k=1}^V t_{\text{неп } k}^{cc}, \quad (2.12)$$

де  $b_n^{cc}$  – середні питомі витрати палива маневровими локомотивами при формуванні подач вагонів на сортувальній станції, кг/год.;

$t_{\text{неп}}^{cc}$  – тривалість  $k$ -тих перестановок вагонів потоку  $K_1$  при формуванні подач, год.,  $t_{\text{неп}}^{cc} = f(m_{\text{ваг}}^{1n})$ ;

$V$  – кількість перестановок вагонів при формуванні подач вагонів з пріоритетного потоку  $K_1$  на сортувальній станції;

– при прямуванні сформованих подач з потоку  $K_1$  і  $K_2$  з сортувальної на вантажну станцію за умови використання тепловозної тяги

$$g_n^{cc-ec1n} = b_n^p \sum_{v=1}^{n_{nep}^{1n}} t_{pv}^{1n},$$

$$g_n^{cc-ec2n} = b_n^p \sum_{w=1}^{n_{нод}^{2n}} t_{pw}^{2n},$$
(2.13)

де  $b_n^p$  – середні питомі витрати палива тепловозами при русі подач вагонів у складі передавального поїзда з сортувальної на вантажну станцію, кг/год.;

$t_{pv}^{1n}, t_{pw}^{2n}$  – тривалість руху відповідно  $v$ -тих і  $w$ -тих передавальних поїздів від сортувальної станції до припортової вантажної відповідно з вагонами потоку  $K_1$  і  $K_2$ , год.;

– при обробці вагонів потоку  $K_2$  на припортовій вантажній станції (переробка вагонопотоку на сортувальних пристроях, формування подач вагонів по причалам тощо)

$$g_n^{ec2n} = b_n^{ec} \sum_{w=1}^{n_{нод}^{2n}} (t_{розw}^{ec} + t_{неpw}^{ec}),$$
(2.14)

де  $b_n^{ec}$  – середні питомі витрати палива маневровими тепловозами при обробці вагонів з потоку  $K_2$  на припортовій вантажній станції, кг/год.;

$t_{розw}^{ec}$  – тривалість переробки  $w$ -тих составів передавальних поїздів на вантажній станції, год.;

$t_{неpw}^{ec}$  – тривалість формування  $w$ -тих подач вагонів по причалам на коліях вантажної станції, год.,  $t_{неpw}^{ec} = f(m_{ваг}^{2n})$ ;

– при перестановці сформованих подач вагонів потоків  $K_1$  і  $K_2$  у районні парки порту

$$g_n^{pn1n} = b_n^{pn} \sum_{v=1}^{n_{nep}^{1n}} t_{pnv}^{1n},$$

$$g_n^{pn2n} = b_n^{pn} \sum_{w=1}^{n_{noo}^{2n}} t_{pnw}^{2n},$$
(2.15)

де  $b_n^{pn}$  – середні питомі витрати палива тепловозами при перестановці сформованих подач вагонів потоків  $K_1$  і  $K_2$  у районні парки порту, кг/год.;

$t_{pnv}^{1n}, t_{pnw}^{2n}$  – тривалість перестановки відповідно  $v$ -тих і  $w$ -тих сформованих подач вагонів потоків відповідно  $K_1$  і  $K_2$  у районні парки порту, год.;

$g_n^{od}$  – доля витрат дизельного палива локомотивами вантажної станції при  $l$  одиночних їх переміщеннях між вантажною станцією та портом, кг, визначається у залежності від числа одиночних пробігів тепловозів між станцією та портом:

$$g_n^{od} = b_n^{od} \sum_{u=1}^p \Delta n_u t_{odu},$$
(2.16)

де  $b_n^{od}$  – середні питомі витрати палива тепловозами при одиночному переміщенні їх між станцією та районними парками, кг/год.;

$t_{odu}$  – тривалість одиночного пробігу маневрових локомотивів вантажної станції між станцією та  $u$ -тим районним парком порту, год.;

$p$  – кількість районних парків у порту;

$\Delta n$  – різниця між загальним числом передач і подач з вантажної станції на  $u$ -тий районний парк порту при виділенні пріоритетного вагонопотоку та без нього і числом подач з  $u$ -того районного парку на вантажну станцію при застосуванні типової технології роботи;

$e_{el}$  – вартість електроенергії, грн/кВт;

$g_{el}$  – доля витрат електроенергії локомотивами вантажної станції при виконанні технологічних операцій з вагонопотоками у підсистемі СС-ВС-РП при застосуванні електричної тяги, кВт,

$$g_{el} = g_{el}^m + g_{el}^{en}, \quad (2.17)$$

де  $g_{el}^m$  – витрати електроенергії безпосередньо на тягу поїздів, кВт,

$$g_{el}^m = f(n_{nep}^{1n}, m_{ваг}^{1n}, n_{под}^{2n}, m_{ваг}^{2n});$$

$g_{el}^{en}$  – витрати електроенергії електровозом на власні потреби, кВт;

$g_{el s}^{od}$  – доля витрат електроенергії локомотивами вантажної станції

при кожному  $s$ -тому одиночному їх переміщенні між вантажною станцією та портом, кВт, визначається у залежності від числа одиночних пробігів тепловозів між станцією та портом.

Оскільки при визначенні мінімуму експлуатаційних витрат на обробку вагонів у підсистемі керуючі параметри є цілочисельними величинами, а залежність вказаних витрат від параметрів керування є нелінійною, то задача, що розглядається, є задачею дискретного динамічного програмування з адитивною цільовою функцією та лінійними обмеженнями [47, 48].

Для розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонів у припортовому вузлі необхідно визначити величину пріоритетного вагонопотоку та число сортувальних колій для обробки вагонів за пріоритетною технологією. Рішення сформованого комплексу оптимізаційних моделей наведено у 3 розділі.

## 2.4 Висновки до розділу 2

1. Запропонована технологія обробки експортних вагонів у

підсистемі СС-ВС-РП на основі розподілу сортувальної роботи між станціями спрямована на удосконалення станційних технологічних процесів шляхом виділення пріоритетних вагонопотоків серед загального обсягу вагонів призначенням у морські порти та подальшого формування з них передач вагонів на вантажні фронти порту на виділених коліях сортувального парку сортувальної станції.

2. На основі системного підходу визначено вхідні впливи на підсистему, внутрішні характеристики, що від них залежать, параметри керування для підвищення ефективності функціонування підсистеми та множину вихідних параметрів, що є конструктивно-технологічними параметрами роботи транспортної підсистеми, сформовано закон функціонування підсистеми.

Це дозволяє визначити раціональну кількість маневрових локомотивів для виконання технологічних операцій з формування груп вагонів призначенням на вантажні фронти у підсистемі формування опорної сортувальної станції на основі оптимізаційної моделі, критерієм якої є максимізація продуктивності маневрових локомотивів, що використовуються у підсистемі формування на опорній сортувальній станції.

3. Запропоновано для виконання операцій з формування передавальних поїздів на даній станції використовувати маневрові локомотиви підсистеми формування припортової вантажної станції, що забезпечить виконання обсягів сортувальної роботи на сортувальній станції, які збільшуються при впровадженні пріоритетної технології.

4. Сформована математична модель з визначення числа і величини передач вагонів на адресу порту за пріоритетною технологією та числа і величини подач вагонів за діючою технологією дозволяє мінімізувати експлуатаційні витрати від скорочення простою місцевих вагонів у транспортній підсистемі СС-ВС-РП з моменту прибуття на сортувальну станцію до моменту подавання груп вагонів на вантажні фронти.

## РОЗДІЛ 3

### РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАГОНОПОТОКІВ У ТРАНСПОРТНІЙ ПІДСИСТЕМІ «СОРТУВАЛЬНА СТАНЦІЯ – ВАНТАЖНА СТАНЦІЯ – РАЙОННІ ПАРКИ ПОРТУ»

#### 3.1 Розробка процедури визначення величини пріоритетного вагонопотоку

Визначення величини вагонопотоку з обробкою за пріоритетною технологією передбачає виконання багатоваріантних розрахунків. Тому виникає необхідність реалізації сформованого комплексу математичних моделей на ЕОМ з подальшим інтегруванням до автоматизованої технології управління процесом обробки вагонопотоків призначенням у морські порти.

З цією метою була розроблена процедура визначення величини вагонопотоку з обробкою за пріоритетною технологією у вигляді алгоритму, блок-схема якого представлена на рисунку 3.1. Структура даного алгоритму представлена окремими модулями (блоками). У таблиці 3.1 наведені послідовність і зміст операцій у блоці алгоритму, спрямованого на визначення величини пріоритетного вагонопотоку.

Суть процедури полягає у відборі груп вагонів для обробки за пріоритетною технологією на сортувальній станції із загального вагонопотоку.

Спочатку відбору підлягають найкрупніші групи вагонів призначенням на вантажні фронти причалів, оскільки виконання з ними вантажних операцій має найбільшу тривалість, а очікування ними їх виконання збільшує простої на виставочних коліях порту.

Після цього формуються пари з решти груп вагонів призначенням на один маневровий район, що пояснюється мінімальними маневровими витратами часу для їх розвезення і виконання вантажних операцій на

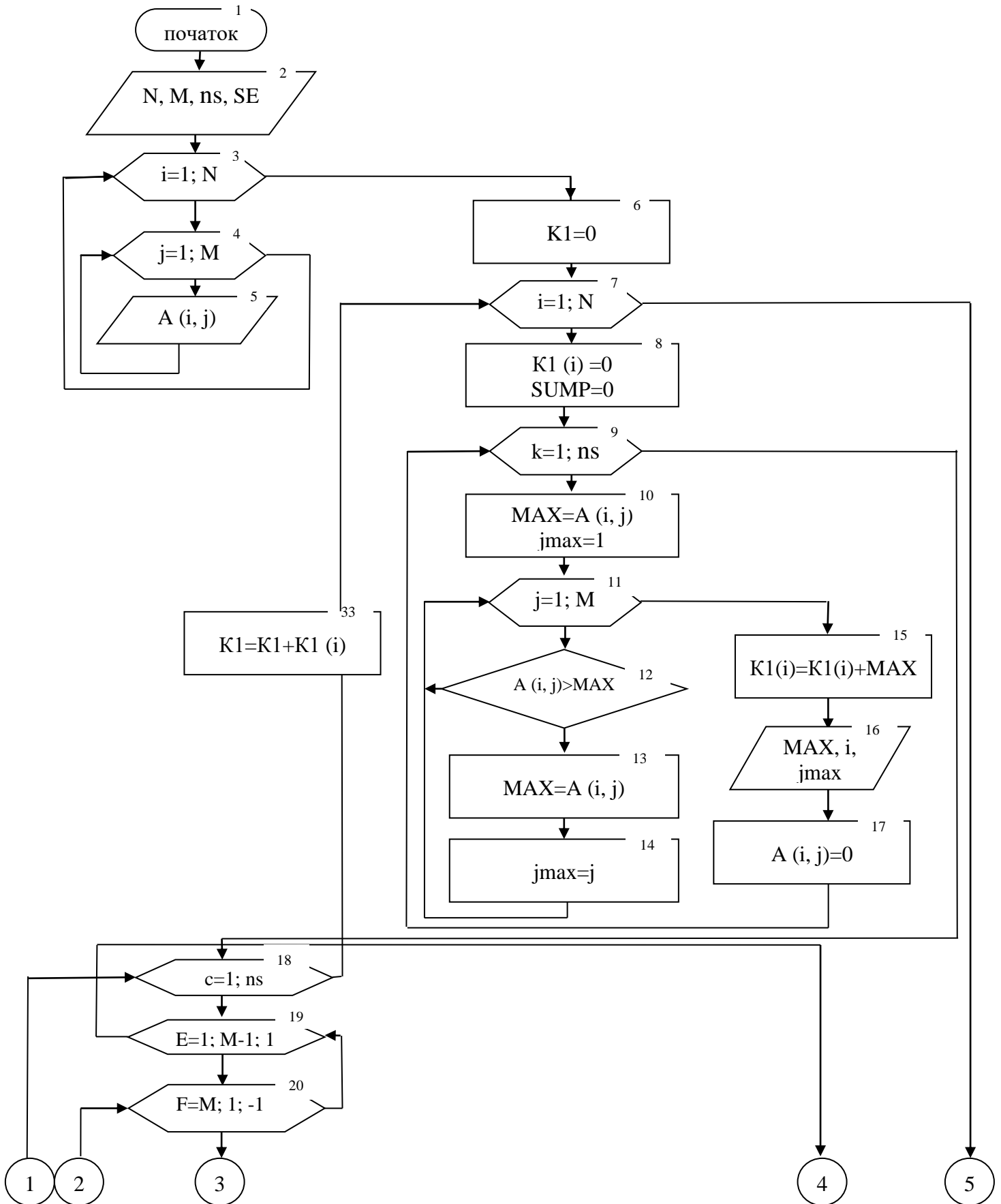
вантажних фронтах причалів. При цьому враховуються такі технічні і технологічні параметри, як потужність призначень та кількість сортувальних колій на станції для формування передач з урахуванням інформації про підхід суден до порту, зокрема власника судна, час підходу судна до порту, рід і кількість вантажу, країну призначення.

Вихідними даними для розрахунку є: кількість причалів (маневрових районів) у порту,  $N$ ; кількість вантажних фронтів на причалах,  $M$ ; переробна спроможність припортової станції,  $SE$ ; кількість колій сортувального парку на сортувальній станції,  $ns$ .

Спочатку проводиться ініціалізація матриці подач на причали порту  $A(i;j)$ , яка складається з рядків,  $i$ , що відповідають причалам порту, і стовпців,  $j$ , що відповідають вантажним фронтам цих причалів.

Блоки 3, 4, 7 задають цикли для перебору відповідно кількості причалів у порту, кількості колій у сортувальному парку на сортувальній станції для вагонів призначенням на припортову станцію і величин подач на вантажні fronti на кожному причалі для відбору найкрупніших подач на вантажні fronti  $MAX$ . У блоці 15 відбувається накопичення таких подач, після чого задається цикл перебору кількості колій у сортувальному парку (блок 18) для формування пар подач вагонів  $MAXP$  (без урахування вже відібраних), які буде приєднано до раніше сформованого вагонопотоку у блоці 16. Якщо відібраний вагонопотік не перевищує переробну спроможність припортової станції (блок 31), то йому присвоюють значення  $K1$  і об'єднують з найбільшими подачами (блок 33), формуючи кінцеве значення величини вагонопотоку з обробкою за пріоритетною технологією.





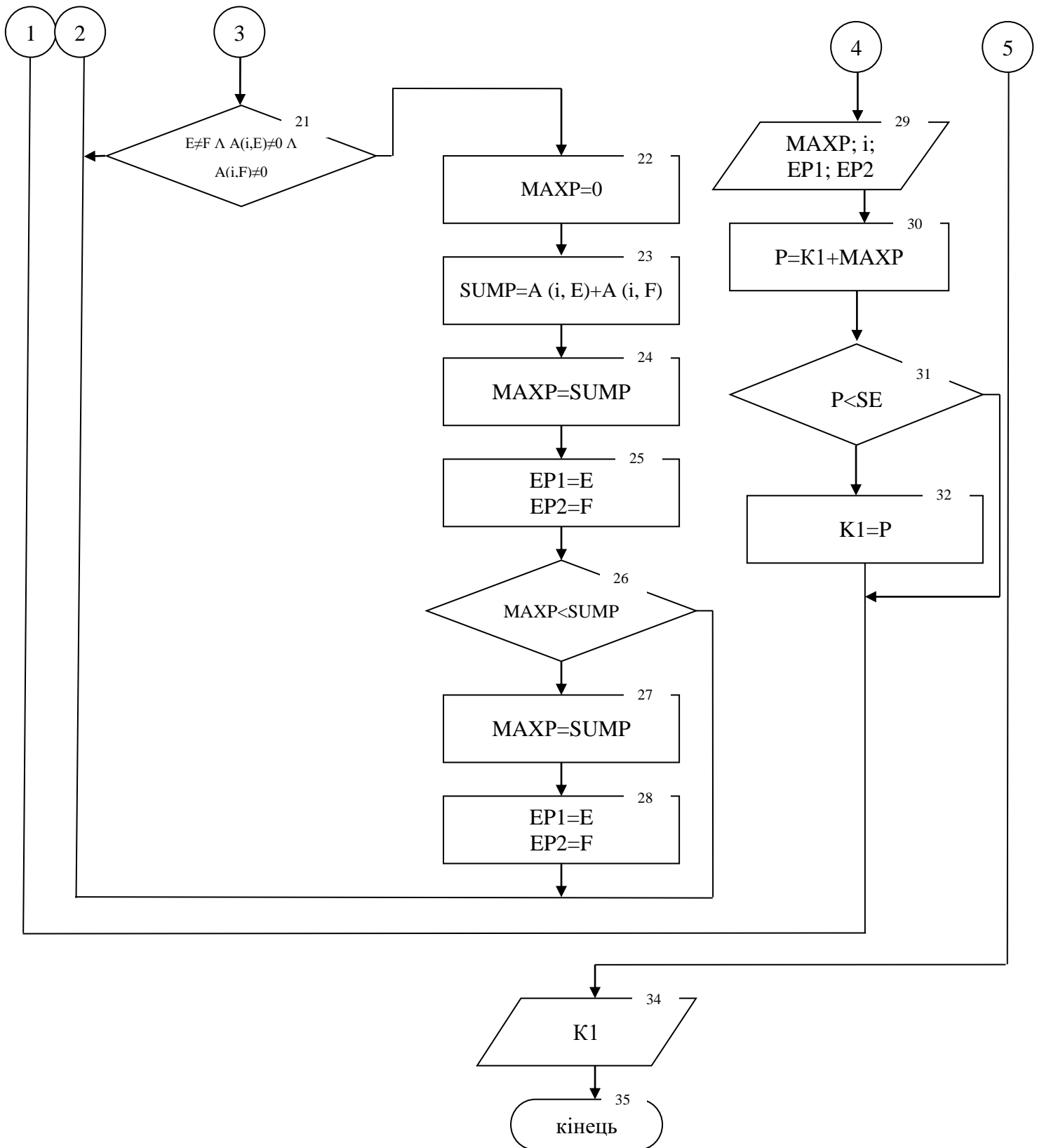


Рисунок 3.1 – Алгоритм визначення величини вагонопотоку для обслуговування за пріоритетною технологією

Таблиця 3.1 – Описання процедури визначення величини пріоритетного вагонопотоку

№ блоків	Призначення
1	2
Блок 1	початок
Блок 2	введення вихідних даних – кількості причалів (маневрових районів) (N), кількості вантажних фронтів на причалах (M), максимальної переробної спроможності припортової вантажної станції (SE), кількості колій сортувального парку сортувальної станції для обробки вагонопотоків призначенням на припортову станцію (ns)
Блок 3	завдання циклу для кількості причалів у порту (маневрових районів) (1; N)
Блок 4	завдання циклу для кількості вантажних фронтів на причалах (вантажних фронтах) (1; M)
Блок 5	ініціалізація матриці подач на вантажні fronti причалів у порту A (i, j)
Блок 6	обнуління значення розміру пріоритетного вагонопотоку (K1)
Блок 7	завдання циклу для кількості причалів у порту (маневрових районів) при виборі максимальних подач на вантажні fronti (1; N)
Блок 8	обнуління значення пріоритетного вагонопотоку по кожному і-тому причалу (маневровому районі) (K1 (i)) та значення суми об'єднаних пар подач вагонів, що увійдуть до пріоритетного вагонопотоку (SUMP)
Блок 9	завдання циклу для перебору кількості колій у сортувальному парку на сортувальній станції для обробки вагонопотоку призначенням на припортову станцію (1, ns)

Продовження таблиці 3.1

1	2
Блок 10	присвоєння максимального значення елементам матриці першої строки ( $A(i, j)$ ), з яким надалі будуть порівнюватись решта значень подач у пошуку найбільших; присвоєння максимального значення подачі у цій строчці рівним 1 ( $j_{\max}=1$ )
Блок 11	завдання циклу для перебору величин подач на вантажні фронти на кожному $i$ -тому причалі ( $1; M$ )
Блок 12	порівняння величини кожної подачі вагонів, що розглядається, з максимальним. Якщо нерівність виконується ( $A(i, j) > MAX$ ), то перехід до блоку 13, в іншому випадку – повернення до циклу перебору величин подач у блоці 11
Блок 13	присвоєння максимальної величини подачі тій, що розглядається ( $A(i, j)$ ) при виконанні умови блока 12
Блок 14	присвоєння індексу максимальної величини подачі вагонів на причал тій, що задовольняє умові блока 12 ( $j_{\max}=j$ ) для ініціалізації її серед решти подач
Блок 15	накопичення суми з найкрупніших подач вагонів $i$ -того причалу після кожного проходження циклу перебору подач
Блок 16	вивід значення найбільшої величини подачі вагонів на $i$ -тий причал ( $MAX$ ), номера причалу призначення цієї подачі ( $i$ ) та номера подачі серед усіх подач вагонів на цей причал ( $j_{\max}$ )
Блок 17	обнуління величини вибраних найкрупніших подач вагонів на причали для виключення їх повторного розгляду у циклі ( $A(i, j)=0$ )

Продовження таблиці 3.1

1	2
Блок 18	завдання циклу для перебору кількості колій у сортувальному парку сортувальної станції, призначених для обробки вагонопотоку призначенням на припортову станцію (1; ns)
Блок 19	завдання циклу для перебору величин подач вагонів з вагонопотоку, що залишився, на кожний причал від першої до передостанньої (1; M-1; 1)
Блок 20	завдання циклу для зворотного перебору величин подач вагонів з вагонопотоку, що залишився, від останньої до першої (M; 1)
Блок 21	аналіз значень пар подач вагонів, що розглядаються у циклах перебору блоків 19 і 20. Необхідний комплекс умов – неспівпадіння позицій подач вагонів у матриці для виключення відбору однієї й тієї ж подачі двічі ( $E \neq F$ ) і одночасно ненульове значення величини кожної подачі вагонів, що розглядається ( $A(i,E) \neq 0 \wedge A(i,F) \neq 0$ ) для розгляду лише тих подач вагонів, що залишилися після відбору пріоритетних. Якщо умови виконуються, то перехід до блоку 22, в іншому випадку – повернення до блоку 20
Блок 22	обнуління максимальної величини пар з відібраних подач вагонів загального вагонопотоку ( $MAXP=0$ )
Блок 23	визначення суми величин відібраних для розгляду пар з подач вагонів на кожний причал для подальшого її порівняння з максимальною
Блок 24	присвоєння максимального значення сумі пар з відібраних подач вагонів ( $MAX=SUMP$ )
Блок 25	позначення позицій і-тої строки подач вагонів з відібраної пари відповідно як $EP1=E$ і $EP2=F$

Продовження таблиці 3.1

1	2
Блок 26	перевірка умови з порівняння значення суми відібраної пари з подач вагонів і поточного максимального значення ( $MAXP < SUMP$ ). Якщо умова виконується, то перехід до блоку 26, в іншому випадку – повернення до блоку 20
Блок 27	прирівнюється отримане значення суми подач вагонів з відібраної пари до максимального ( $MAXP = SUMP$ )
Блок 28	позначення позицій відібраної пари подач вагонів як $EP1 = E$ і $EP2 = F$ для повернення у цикл
Блок 29	вивід максимального значення суми пари з подач вагонів ( $MAXP$ ), номеру причалу, на який вони адресовані ( $i$ ), а також номерів їх позиції у строчці ( $EP1$ ; $EP2$ )
Блок 30	визначення величини вагонопотоку, що складається з суми найкрупніших подач вагонів на причали у строках та найбільших значень сум пар з решти подач вагонів на причали у строках ( $P = K1 + MAXP$ )
Блок 31	порівняння отриманого значення величини вагонопотоку $P$ з максимальною переробною спроможністю вантажної станції $SE$ . Якщо $P < SE$ , то отримане значення величини пріоритетного вагонопотоку приймається, в іншому випадку – повернення до пошуку пар з подач вагонів у блок 18
Блок 32	присвоєння значення $K1$ отриманому значенню пріоритетного вагонопотоку $P$
Блок 33	визначення величини пріоритетного вагонопотоку з найкрупніших подач вагонів та найкрупніших пар з решти подач вагонів ( $K1 = K1 + K1(i)$ )
Блок 34	виведення величини пріоритетного вагонопотоку $K1$
Блок 35	кінець

Розроблена процедура визначення величини пріоритетного вагонопотоку у вигляді алгоритму дає можливість запланувати порядок та час обробки кожної подачі у порт, зменшити непродуктивні простой вагонів шляхом узгодженого планування сумісної роботи залізниці та морського порту з передачі вагонів, зменшити простой суден в очікуванні їх обслуговування, більш точно спрогнозувати тривалість обробки вагонів на припортовій станції та у порту.

### 3.2 Визначення кількості сортувальних колій для обробки пріоритетних вагонопотоків

Наукові розробки щодо визначення колійного розвитку припортових вантажних станцій формувалися на основі методик, розроблених для розрахунку кількості колій на сортувальних і вантажних станціях. У їх створенні брали участь: академік В.Н. Образцов, професори В.М. Акулінічев, Є.В. Архангельський, П.В. Бартенев, В.Я. Болотний, Є.А. Ветухов, Є.О. Гібшман, П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, Ю.І. Єфименко, С.В. Земблінов, С.Д. Корейша, С.І. Логінов, В.Є. Ляхницький, В.Д. Нікітін, А.Т. Осьмінін, В.О. Персіанов, А.І. Платонов, Є.О. Сотніков, І.Г. Тихомиров, Н.І. Федотов, Н.Н. Шабалін та інші вчені і дослідники. Результати багатьох досліджень створили основу для методів розрахунку колійного розвитку залізничних станцій у сучасних нормативних документах [49-55].

У другій половині минулого сторіччя широкого розповсюдження набули аналітичні методи із застосуванням теорії масового обслуговування, в яких встановлені розподіли окремих випадкових величин виражається через один із видів теоретичних розподілів з використанням їх числових характеристик. Формули для визначення кількості колій у парках базуються на уточненому розрахунку у згущений

період прибуття поїздів, розрахунковому інтервалі прибуття і обробки поїздів на станції та ін. Авторами було запропоновано декілька способів визначення як періоду згущеного надходження поїздів, так і кількості таких поїздів. В основу їх визначення були закладені залежності від ймовірності надходження поїздів у розформування з розрахунковою інтенсивністю [56], завантаження сортувальної гірки [57], вартості укладання та утримання колій у парках [37], що зумовлює меншу кількість колій при різних вартісних показниках при одних і тих же розмірах руху та нерівномірності надходження поїздів.

Однак складність визначення зазначених величин, застосування визначення розподілу випадкових величин на окремо взятих станціях, а також припущення щодо відсутності поїздів у парках на початку роботи станції зумовлює основні недоліки таких методів. Крім того, застосування зазначених методів можливе при стаціонарному потоці поїздів та составів, що надходять до парків, та при сталому режимі функціонування технічних об'єктів систем обслуговування. Тому областю застосування таких методів можуть стати попередні розрахунки при проектуванні та реконструкції станцій.

Кількість сортувальних колій у [52], слід визначати, як сумарне число одиничних вантажно-розвантажувальних фронтів окремих ділянок порту. У [53] обґрунтовується збільшення ємності сортувального парку за рахунок укладання додаткових колій при нерівномірному розподілі вагонів за призначеннями різної потужності у залежності від потужності та ймовірності накопичення вагонів за окремий період.

У роботі [58] запропоновано методику розподілу сортувальних колій між призначеннями плану формування, яка дозволяє скоротити загальні експлуатаційні витрати сортувальних станцій на закінчення формування одnogрупних та багатогрупних поїздів на основі мінімізації приведених маневрових локомотиво-годин, що витрачаються на закінчення формування поїздів. У [59] розглянуто загальні експлуатаційні витрати



сортувальних станцій, пов'язані з поїздоутворенням. Виділено статті експлуатаційних витрат, величина яких залежить від спеціалізації сортувальних колій у парках накопичення технічних станцій та виконано їх нормування для розрахунку раціональної спеціалізації цих колій.

Згідно [60] у випадку, коли порт обслуговується безпосередньо сортувальною станцією, кількість сортувальних колій, спеціалізованих для порту, рекомендується встановлювати з умови накопичення на одній колії вагонів для групи вантажних фронтів, що обслуговуються одноразовою подачею. Кількість і корисна довжина цих колій залежать від величини добового вагонопотоку, що надходить на адресу відповідної групи вантажно-розвантажувальних фронтів:

- до 60 вагонів на добу – 1 колія довжиною 500-700 м;
- від 61 до 160 вагонів на добу – 1 колія довжиною 700-850 м;
- понад 160 вагонів на добу – 2 колії довжиною 500-700 м.

При технології обслуговування порту тільки сортувальною станцією число сортувальних колій на ній для груп вагонів на адресу порту у загальному вигляді може визначатися за формулою

$$n_{\text{сорт}}^{\text{cc}} = \frac{\sum N_{\text{сеп}}^{\text{в}} \cdot t_{\text{mex}}^{\text{cc}}}{24 \cdot L_{\text{с}}}, \quad (3.1)$$

де  $N_{\text{сеп}}^{\text{в}}$  – середньодобова кількість вагонів, що прибувають під розвантаження у максимальний місяць переробки;

$t_{\text{mex}}^{\text{cc}}$  – технологічна тривалість обробки вагонів на сортувальній станції, год.;

$L_{\text{с}}$  – місткість однієї колії при встановленій ваговій нормі передачі, ум. ваг.

У роботі [61] запропонована формула визначення кількості сортувальних колій згідно числа призначень, для яких формуються передавальні поїзди, або кількості окремих портових районів, що

обслуговуються опорною сортувальною станцією у залежності від розміру добового вагонопотоку. У [62] розроблений спосіб визначення кількості сортувальних колій на сортувальній станції виходячи з умови виділення не менше однієї колії для кожного районного парку або вантажного фронту з урахуванням вагової норми передачі з сортувальної станції у кожний районний парк. У роботі [63] запропоновано спорудження проміжних роздільних пунктів на ділянці між опорною технічною станцією і припортовою у вузлі для організації руху поїздів за «твердим» графіком.

На сортувальних і припортових станціях використовуються схожі принципи організації маневрової роботи та задіяні методики визначення колійного розвитку у парках, що викликано однорідністю характеристик поїздопотоків, що надходять на ці станції та обумовлює загальний підхід у визначенні кількості сортувальних колій на них.

В існуючих наукових розробках з розрахунку колійного розвитку сортувальних парків немає ув'язки з технологією маневрового обслуговування, зокрема, з порядком вибору вантажних фронтів для їх обробки. Відсутні рекомендації та обґрунтування можливої спеціалізації сортувальних колій по призначеннях у подачі. Недостатньо досліджені такі фактори, що впливають на колійний розвиток припортової станції, як нерівномірність надходження вагонів на адресу вантажних районів і фронтів порту, вплив технології обслуговування вантажно-розвантажувальних фронтів і тривалість вантажних операцій з вагонами на потрібну кількість колій у сортувальному парку.

Окрема увага приділяється колійному розвитку сортувальних парків на самих припортових вантажних станціях у той час, коли на більшості припортових станцій немає окремого сортувального парку або сортувальних колій. Але характер роботи припортових станцій і специфіка роботи, що виконується на них, при визначенні методики розрахунку колійного розвитку викликають необхідність враховувати специфіку вагонопотоків, які надходять, вплив роботи порту на організацію

обслуговування вантажних фронтів, їх розташування у морських портах, обсяги вантажообігу портів.

Найбільш повно та точно враховують узгодженість та взаємодію у роботі станцій та прилеглих технологічних об'єктів, а також окремих внутрішньостанційних підсистем між собою методи розрахунку колійного розвитку парків на основі закладення кількості колій для виконання основних технологічних операцій та додаткової кількості колій, на яких відбуваються технологічні процеси, пов'язані зі специфікою виконання обробки составів, типом та призначенням рухомого складу. Додаткові колії можуть визначатися розрахунком у залежності від окремих технологічних параметрів (завантаження технічних об'єктів, нерівномірності надходження составів та їх обробки) [56, 64] або прийматися аналітично для кожного процесу.

Зростання обсягів переробки вагонів у результаті розвитку торгових відносин України з країнами Азії, Європи та США, зумовлює необхідність розробки та впровадження заходів з концентрації переробки вагонів на крупних технічно оснащених сортувальних станціях з метою скорочення сортувальної роботи.

Існуюче розміщення сортувальних станцій та особливості проектування сортувальних парків не задовольняють умовам концентрації сортувальної роботи та оптимальної організації вагонопотоків. На опорних сортувальних станціях з невеликим колійним розвитком сортувальних парків нераціонально використовуються технічні засоби з механізації та автоматизації технологічних процесів, що спричиняє необхідність повторної переробки вагонів, уповільнює їх обіг, зростають терміни доставки вантажів.

Як показує аналіз використання колійного розвитку сортувальних парків на сортувальних станціях, резерв колій та раціональність їх використання вимагають перегляду та розробки підходу до визначення оптимальної кількості колій сортувальних парків та їх спеціалізації для

забезпечення оптимальних варіантів плану формування поїздів з потужних напрямків вагонопотоків з урахуванням резерву колій.

Питання колійного розвитку парків прибуття та відправлення були розглянуті вченими у достатній мірі, а теорії розвитку сортувальних парків та розрахунку їх кількості присвячено значно менше робіт. При цьому в основу більшості розрахунків покладено визначення основної кількості колій для виконання безпосередньо сортувальної роботи з переробки вагонів та додаткової кількості колій для виконання місцевої роботи, повторного сортування кутового вагонопотоку, для вагонів з небезпечними вантажами, вагонів, що потребують ремонту тощо.

На сьогодні кількість сортувальних колій у парках сортувальних станцій слід встановлювати згідно [65] у залежності від кількості призначень за планом формування поїздів (включаючи призначення порожніх вагонів), добової кількості вагонів кожного призначення і технології формування поїздів.

На кожне призначення плану формування, як правило, виділяється окрема сортувальна колія, а для призначень з добовим вагонопотоком більше ніж 200 вагонів – дві колії. У відповідності з технологією формування групових поїздів для накопичення вагонів окремих призначень у сортувальному парку допускається виділяти додаткові колії.

Для концентрації сортувальної роботи у припортових вузлах на обмеженій кількості сортувальних станцій та забезпечення ефективної переробки експортних вагонопотоків, які складають переважну частину із загального обсягу переробки, необхідно мати достатній колійний розвиток у сортувальних парках на цих станціях. Досягти цього можна збільшенням кількості колій, що у сучасних умовах функціонування сортувальних станцій є технічно та економічно невиправданим. Тому запропоновано метод зміни спеціалізації діючих колій сортувальних парків з урахуванням умов функціонування сортувальної станції та розмірів вагонопотоків, що на ній обробляються.

Крім того, кількість сортувальних колій, задіяних у формуванні составів, впливає на величину інтервалу виставлення составів у парк відправлення [66-67], який обмежує ефективність роботи підсистеми формування станції. Його величину визначає процес закінчення формування поїздів, який, у свою чергу, є технологічно складним. Нерівномірність вхідного вагонопотоку на станції суттєво впливає на величину простоїв составів у очікуванні закінчення формування, тому задача вибору оптимального колійного розвитку сортувального парку та його спеціалізації є не тільки задачею технічного рішення, а й технологічного, яка визначає ефективність роботи усієї підсистеми розформування на сортувальній станції.

Відомо, що з метою попередження можливих затримок під час розпуску составів через недостатню місткість спеціалізованих колій та при нерівномірному надходженні вагонопотоку доцільно застосовувати змінну спеціалізацію колій сортувального парку [29, 68-70]. Згідно запропонованої у розділі 2 технології розподілу сортувальної роботи між станціями у припортовому вузлі, визначення оптимальної кількості колій сортувального парку на сортувальних станціях, які формують поїздопотоки на припортові вантажні станції, необхідно здійснювати виходячи з умов виділення із загальної кількості колій сортувального парку колії для накопичення пріоритетних вагонів призначенням у порти та решти колій для накопичення усіх інших вагонів.

Кількість сортувальних колій на одне призначення у роботі [71] автором к. т. н. А.М. Сухопяткіним було запропоновано визначати за формулою

$$n_{cn}^{призн} = \frac{2 \cdot t_{нак} \cdot N_{ваг}}{24 \cdot m_c}, \quad (3.2)$$

де  $N_{ваг}$  – добова кількість вагонів одного призначення;

$m_c$  – середня кількість вагонів у складі поїзда;

$t_{нак}$  – середній простій вагонів під накопиченням на станції, год.,

$$t_{нак} = \frac{c_n \cdot k_n \cdot m_n + c_{зб} \cdot k_{зб} \cdot m_{зб}}{N_{ваг}}, \quad (3.3)$$

а для кожного окремого призначення –

$$t_{нак}^{призн} = \frac{c \cdot m}{N_{ваг}^{призн}}, \quad (3.4)$$

де  $c_n, c_{зб}$  – параметр накопичення відповідно наскрізних і збірних, передавальних, вивізних поїздів;

$k_n, k_{зб}$  – кількість призначень відповідно наскрізних і збірних, передавальних, вивізних поїздів;

$m_n, m_{зб}$  – середня кількість вагонів у складі відповідно наскрізних і збірних, передавальних, вивізних поїздів, що формуються на станції.

З метою наближення величини необхідної кількості сортувальних колій до реальних умов функціонування об'єктів транспортної підсистеми запропоновано застосування формули (3.2) з розрахунку необхідного колійного розвитку для обробки вагонів пріоритетного вагонопотоку з урахуванням математичного очікування тривалості накопичення пріоритетних вагонів кожного призначення на состав передавального поїзда та величини составу передавального поїзда, що формується на адресу вантажних станцій.

Окрім того, з урахуванням нерівномірності надходження окремих вагонопотоків на станцію та збільшення кількості технологічних операцій на сортувальних коліях при формуванні груп вагонів призначенням на причали порту доцільним є до основної кількості колій додатково задіяти одну колію для погашення зазначених факторів. Призначенням зазначеної

додаткової колії є перестановка груп вагонів під час формування складу передавального поїзда, тому розподіл вагонів у процесі розпуску з гірки на дану колію не передбачений, окрім випадку, коли на даній колії буде розміщено готову групу вагонів без необхідності підбирання вагонів, включену до складу передавального поїзда.

Таким чином, формула визначення кількості колій сортувальних парків для обробки пріоритетного вагонопотоку на сортувальній станції після удосконалення набуде вигляду

$$n_s^{1n} = \frac{\left( \int_0^{t_p} t_{\text{нак}} f(t_{\text{нак}}) dt \right) \cdot \sum_{i=1}^b N_{\text{ваз } i}^{np}}{t_p \cdot \mu_c} + 1, \quad (3.5)$$

де  $t_p$  – період оперативного планування роботи на сортувальній станції, год.;

$b$  – число пріоритетних призначень, з яких формуються передавальні поїзди на припортову вантажну станцію за період  $t_p$ ;

$t_{\text{нак}}$  – тривалість накопичення вагонів кожного призначення на склад передавального поїзда, що формується на адресу ВС, год.;

$f(t_{\text{нак}})$  – функція щільності розподілу тривалість накопичення пріоритетних вагонів кожного призначення на склад передавального поїзда;

$N_{\text{ваз } i}^{np}$  – добовий обсяг вагонів, які надходять на СС з кожного  $i$ -го пріоритетного призначення;

$\mu_c$  – математичне очікування величини складу передавального поїзда, що формується на адресу ВС, ваг.

Необхідність удосконалення зумовлена тим, що надходження вагонів у підсистему СС-ВС-РП протягом доби має нерівномірний характер,

потужності призначень вагонів відрізняються у рази та мають сезонний характер.

З метою застосування удосконаленого методу визначення колійного розвитку у сортувальному парку сортувальних станцій доцільно провести дослідження статистичних параметрів тривалості накопичення вагонів на опорних сортувальних станціях і кількості вагонів у складі передавального поїзда, які формуються на сортувальній станції призначенням на припортову станцію. Дослідження структури та оцінку параметрів вказаних величин проведено за допомогою методів математичної статистики.

З урахуванням припущення про те, що у окремому випадку величина пріоритетного вагонопотоку може приймати значення загального, приймаємо до розгляду статистичні дані, зібрані на залізничних станціях припортового вузла регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Українська залізниця» Одеса-Сортувальна і Одеса-Застава І. Оскільки проводилися однорідні експерименти з дослідження тривалості накопичення составів передавальних поїздів і кількості вагонів у складі таких поїздів (як за кількісними, так і за якісними ознаками), це дозволяє об'єднати отримані статистичні дані у відповідні генеральні сукупності.

За допомогою програмного середовища Microsoft Excel було виконано обробку статистичних даних, результати якої наведено у додатку Б.

Для визначення оцінки ступеня близькості теоретичних розподілів до емпіричних розподілів досліджуваних величин було обрано аналітичні методи узгодження гіпотез щодо розподілу випадкових величин з використанням  $\chi^2$ -критерію Пірсона і критерію Романовського [72-73].

При достатньо великому обсягу вибірки (більше 100 спостережень) та рівні значущості  $\varepsilon = 0,05$  для підтвердження гіпотези про відповідність емпіричного розподілу теоретичному величина критерію Романовського повинна бути не більше 3,409.



Кількісний состав поїздів, що формуються на сортувальній станції для їх подальшого розформування на припортовій станції, являє собою випадкову дискретну величину. При дослідженні параметрів імовірнісних характеристик розподілу цієї величини було побудовано гістограму розподілу на основі статистичного ряду та висунуто припущення щодо характеру розподілу імовірнісних величин за нормальним законом (рисунок 3.2).

Нормальний закон розподілу величин характеризується двома параметрами – математичне очікування,  $\mu$ , та стандартне відхилення,  $\delta$ . При дослідженні характеру розподілу кількості вагонів у складі передавальних поїздів ці величини склали відповідно 35,76 і 9,04, а

функція щільності має вигляд  $f(x) = \frac{1}{9,04\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-35,76)^2}{163,28}}$ .

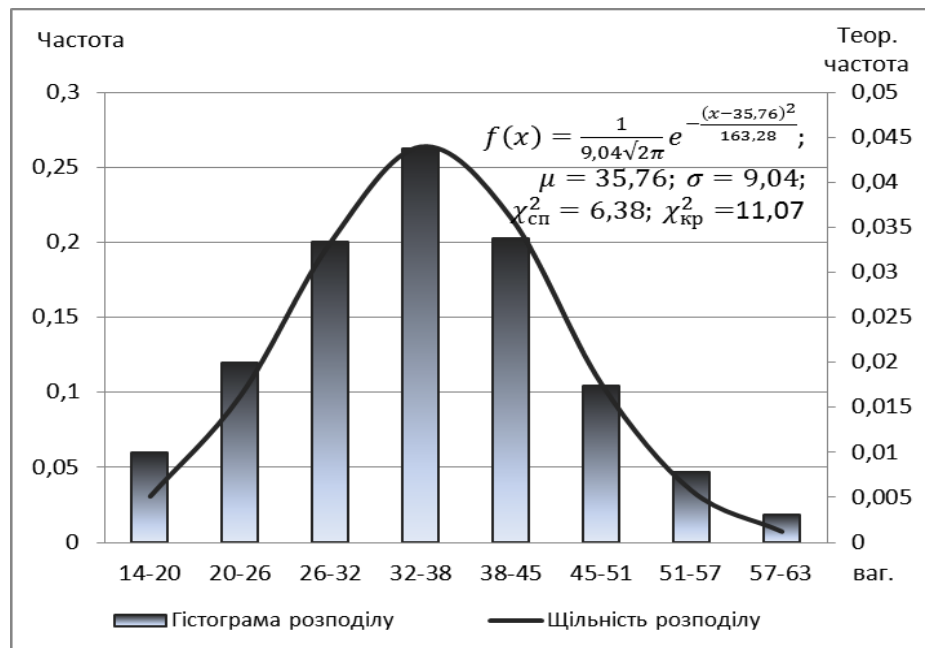


Рисунок 3.2 – Розподіл кількості вагонів у складі передавальних поїздів на адресу припортової станції, сформованих на сортувальній станції

Подальші розрахунки з перевірки висунутої гіпотези показали, що за критерієм  $\chi^2$  Пірсона різниця між теоретичною та емпіричною частотами

складає 6,38, що не перевищує критичного значення  $\chi_{\text{до}}^2 = 11,07$ . Значення критерію Романовського склало 0,438, що також підтверджує, що нормальний закон досить добре відображає заданий статистичний розподіл.

Простий вагонів під накопиченням составів є ваговою частиною одного з основних якісних показників роботи сортувальної станції – простою транзитного вагона з переробкою. Середньодобові витрати вагоно-годин на накопичення по кожному призначенню є важливим параметром при розрахунку плану формування поїздів, а отже, і в експлуатаційній роботі залізниць.

При дослідженні параметрів імовірнісних характеристик розподілу тривалості простою вагонів під накопиченням на основі статистичного ряду було побудовано гістограму розподілу та висунуто припущення щодо характеру розподілу імовірнісних величин за гамма-розподілом (рисунок 3.3).

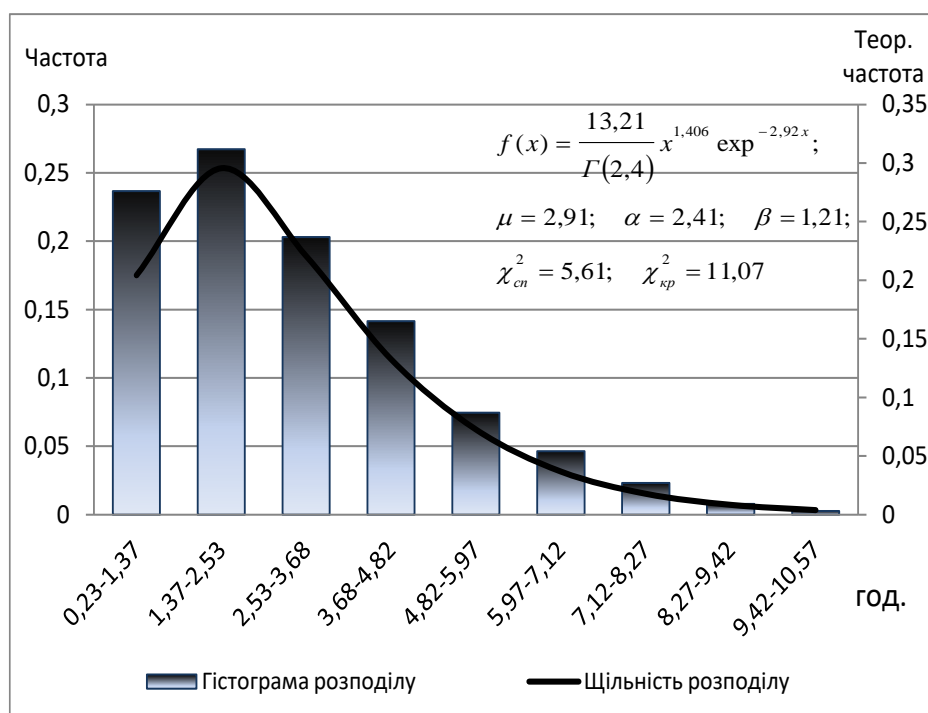


Рисунок 3.3 – Розподіл тривалості накопичення вагонів на коліях сортувального парку сортувальної станції

Гамма-розподіл має два статистичні параметри, параметр форми  $\alpha$  і параметр масштабу  $\beta$ . У рамках даного дослідження ці величини склали відповідно 2,40 і 1,21, а функція щільності розподілу має вигляд

$$f(x) = \frac{13,21x^{1,406}}{\Gamma(2,4)} \exp^{(-2,92x)}.$$

У практичних умовах було визначено, що розрахунковий критерій  $\chi^2$  Пірсона склав 5,62, він є меншим за табличне критичне значення 11,07 при рівні значущості 0,05. Значення критерію Романовського дорівнює 0,195. Отримані значення вказують на те, що знайдений теоретичний розподіл тривалості накопичення вагонів на коліях сортувального парку дуже добре узгоджується з натурними даними.

### 3.3 Формування імітаційних моделей функціонування об'єктів транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту»

Для проведення оптимізаційних розрахунків раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів на станціях припортового залізничного вузла призначенням на вантажні fronti, зокрема потрібного числа маневрових локомотивів для роботи у підсистемі формування опорної сортувальної станції, необхідно визначити обсяги маневрової роботи, що проводиться у зазначеній підсистемі, а також тривалість простою вагонів під технологічними операціями, що проводяться у підсистемі.

Тому постає питання формування імітаційної моделі транспортної підсистеми СС-ВС-РП. Це дасть можливість визначити обсяг маневрових робіт у підсистемі формування сортувальної станції та подальшого розрахунку рівня завантаження маневрових локомотивів підсистеми формування як елемента системи обмежень оптимізаційної моделі

максимізації продуктивності маневрових локомотивів, що використовуються для виконання технологічних операцій з формування груп вагонів призначенням на вантажні fronti (2.7, 2.8). До того ж, до результатів імітаційного моделювання відносяться обсяги маневрової роботи на припортовій вантажній станції і тривалість простою вагонів під технологічними операціями у підсистемі для використання в оптимізаційних розрахунках моделі (2.9) мінімізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів.

Системам, що функціонують у режимі реального часу, найбільш адекватні моделі часових мереж Петрі [74-76]. Такі мережі дозволяють оцінювати часові характеристики систем реального часу. У часовій мережі кожному переходу відповідає деяке дійсне число, що позначає тривалість спрацьовування цього переходу. Від моменту початку спрацьовування переходу його маркери отримують ознаку зайнятості і не можуть використовуватися для спрацьовування інших переходів до закінчення спрацьовування даного переходу.

Часові мережі Петрі є одним з відомих розширень базових мереж Петрі [77-78], що використовуються для моделювання систем і процесів, при аналізі яких необхідно враховувати не тільки порядок виконання дій, але також часові характеристики. При застосуванні часових мереж Петрі відбувається зіставлення часових затримок переходам мережі як елементам, які представляють дії об'єкту, що досліджується.

Час при цьому можна зіставляти різним мережним елементам: місцям, переходам, дугам, фішкам. Найбільшого поширення набули моделі, у яких часові характеристики пов'язані з переходами: дискретно-часова модель Рамхандані-Штарке і безперервно-часова модель Мерліна [79-80], яка зіставляє кожному переходу пару невід'ємних чисел, які вказують на найбільш ранній і найбільш пізній час, коли може спрацювати перехід. У моделі Рамхандані [81] кожному переходу відповідає деяке значення тривалості спрацьовування переходу.

При дослідженні часових мереж, як правило, використовувалися інваріанти відповідної базової мережі Петрі [82-84]. Однак, на відміну від базової мережі, стан якої повністю визначається її маркуванням, часова мережа при заданому маркуванні може мати різні стани переходів. У роботі [85] стан переходу був представлений як час, що залишився до його завершення. Однак такий спосіб пов'язаний зі значними труднощами, в особливості для мереж, що допускають повторні запуски активних переходів.

У роботі [86] було запропоновано в якості стану об'єкта використовувати історію запусків переходу за період, що дорівнює тривалості його спрацьовування, що дозволило отримати повне формальне подання динаміки мережі Петрі у вигляді рівняння станів. У роботі [87] рівняння станів використано для отримання лінійного фундаментального рівняння часової мережі, введено поняття повних і часткових інваріантів. При цьому стан часової мережі включає в себе не тільки маркування, а й характеристики переходів, тому визначаються інваріанти стану та інваріанти поведінки, аналогічні інваріантам позицій і переходів базової мережі відповідно. Однак враховуючи величину розгалуженої структури мереж Петрі для підсистеми, що досліджується, визначення інваріантів стану і поведінки при відповідному маркуванні викликає великі витрати часу та не має вирішального значення при дослідженні властивостей мережі.

Завдяки технічній можливості здійснення декількох процесів моделювання одночасно ознаки, покладені на окремі переходи в одній мережі, можуть відповідати різним фізичним процесам (наприклад, тривалість технологічних операцій, розподіл транспортних рухомих одиниць за різними ознаками, зайнятість колій парків і т.д.), одночасно представленим у одній мережі.

Дослідження функціонування підсистеми доцільно проводити у два етапи: спочатку проводити моделювання роботи сортувальної станції з

аналізом отриманих значень, а потім окремо припортової. Такий спосіб зумовлений особливостями побудови моделей у мережах Петрі при необхідності отримання результатів моделювання на кожному його етапі, що має принципове значення. Так, деякі вихідні параметри при моделюванні роботи сортувальної станції є вхідними даними для проведення моделювання роботи припортової вантажної станції (зокрема, кількість та состав передавальних поїздів, сформованих на сортувальній станції призначенням на припортову).

Процес функціонування сортувальної станції Одеса-Сортувальна, характер роботи якої дозволяє розглядати її опорну сортувальну станцію, що формує поїзди на припортову станцію, та припортової вантажної станції Одеса-Порт, було покладено в основу створення імітаційної моделі у мережах Петрі з метою дослідження як технологічних процесів на сортувальній станції, так і визначення тих конструктивно-технологічних параметрів, значення яких лежать в основі визначення доцільності впровадження удосконаленої технології обробки міжнародних вагонопотоків на цій станції. До таких параметрів відносяться ті, що кількісно залежать від проведення удосконаленої технології та за своїми значеннями відрізняються від аналогічних, визначених при існуючій технології: загальна тривалість знаходження експортних вагонів у підсистемі СС-ВС-РП (зокрема, тривалість знаходження вагонів на сортувальній станції під сортуванням,  $t_{сорт}^{cc}$ ; тривалість обробки вагонів на вантажній припортовій станції,  $t_{обр}^{ec}$ ); зайнятість колій сортувального парку сортувальної станції,  $z$ ; резерв переробної спроможності припортової станції,  $N_{рез}$ . Визначення цих параметрів проводиться шляхом завдання умов функціонування станції та дослідження їх змін, викликаних застосуванням тих умов, що формують процес застосування удосконаленої технології роботи станції.

Процес імітаційного моделювання передбачає наявність вихідних даних, що формують умови для проведення моделювання. Вихідними даними задачі є інформація про структуру підсистеми, обсяги вагонопотоку, що надходить на сортувальну станцію згідно плану формування поїздів; характеристики технічних об'єктів сортувальної станції, до яких відносяться: потужність сортувальної гірки, кількість колій у парках станцій, кількість працюючих на станції маневрових локомотивів та їх спеціалізація, кількість груп працівників технічного та комерційного огляду, оперативна інформація про стан об'єктів у попередні моменти часу тощо.

Серед сукупності технічних та технологічних показників роботи станцій для проведення моделювання роботи сортувальної станції вхідними параметрами є:

- розмір вхідного поїздопотоку на станцію,  $N_{ex}^{cc}$ ;
- доля пріоритетних вагонів у цих поїздах призначенням у порти через припортову станцію,  $\delta$ ;
- кількість парків та колій у них для приймання поїздів, відповідно  $p^{cc}$  та  $n_p^{cc}$ ;
- кількість маневрових локомотивів, які працюють на сортувальній станції,  $L_{cc}$ ;
- кількість колій у сортувальному парку станції, на які здійснюється розпуск составів,  $n_c^{cc}$ .

Для проведення моделювання роботи припортової вантажної станції вхідними параметрами є:

- розмір вхідного поїздопотоку на припортову станцію,  $N_{ex}^{ec}$ ;
- доля поїздів з пріоритетних вагонів призначенням у порти,  $\delta$ ;
- кількість приймально-відправних колій на станції,  $n_p^{ec}$ ;
- кількість маневрових локомотивів, які працюють на припортовій станції,  $M_{ec}$ ;

– кількість колій станції, на яких можливий розпуск составів та маневрові роботи,  $n_c^{ec}$ .

При моделюванні сортувального процесу на сортувальній станції переходами зображено процеси зміни стану вагонів під тими операціями, які проводяться з поїздами, складами, вагонами або локомотивами у підсистемах розформування та формування, а також події, що не мають тривалості дії, але мають значення при розподілі составів на групи чи окремі вагони або застосуванні розподілу ймовірностей настання певних подій. Так, під переходами першого типу можуть значитись операції з розформування складу; причеплення маневрового локомотива до складу; технічний огляд складу по прибутті; підбирання груп вагонів у склад у сортувальному парку. До переходів другого типу відносяться розбиття складу на групи вагонів або на окремі вагони при розформуванні на гірці; розподіл вагонів, що скочуються з гірки, по пучках сортувального парку тощо.

Програмний інтерфейс імітаційних моделей транспортної системи з обробки вагонопотоків у мережах Петрі наведено у додатку В.

Позиціями у мережі Петрі виступають фізичні об'єкти моделювання (вагони, поїзди, локомотиви, бригади оглядачів тощо) у процесі виконання технологічних операцій та в очікуванні їх виконання, перебування фізичних одиниць на певних об'єктах, а також так звані «лічильники» кількості фізичних одиниць, що пройшли певні переходи, тобто з якими відбулися певні операції. Фізичними одиницями (фішками, що рухаються від позицій до переходів) у даній моделі є кількісні фізичні об'єкти, що змінюють свою чисельність у процесі моделювання: поїзди, що прибувають і відправляються зі станції; склади, що розформовуються або формуються на сортувальних коліях; вагони, що розподіляються на колії у процесі розформування або які об'єднуються у групи вагонів під час формування складу; маневрові локомотиви, що обслуговують станцію;



бригади оглядачів составів пунктів технічного та комерційного обслуговування тощо.

Моделювання процесу поїздоутворення проводиться на підставі встановлених технологічним процесом норм тривалості знаходження составів у парках прибуття й відправлення, розформування й формування составів поїздів, перестановки їх у парк відправлення тощо.

### 3.4 Аналіз системних властивостей імітаційних моделей

До основних системних властивостей мереж Петрі відносяться безпека і обмеженість; абсолютна збереженість (консервативність) або збереженість по відношенню до вектора зважування; живість та стійкість; досяжність, або покриваємість того чи іншого маркування.

Аналіз системних властивостей розроблених моделей у мережі Петрі проводився на основі застосування програмного продукту Petri Nets Simulator, який дозволяє шляхом вбудованого аналізатору отримати основні характеристики побудованої у ньому розроблених моделей.

У основу дослідження зазначених властивостей покладено аналіз досяжності. Методи аналізу властивостей мереж Петрі засновані на використанні графів досяжних (покриваючих) маркувань (простору станів), вирішенні рівняння станів мережі і визначенні лінійних інваріантів позицій і переходів у цілих невід'ємних числах, евристичний метод вирішення яких був запропонований Тудиком у роботі [88]. Застосовуються також допоміжні методи аналізу – метод редукції [89], що дозволяє зменшити розмір мережі Петрі зі збереженням її властивостей, і метод декомпозиції [90], що розділяє вихідну мережу на підмережі із введенням поняття повних та часткових інваріантів.

Одним із потужних засобів дослідження властивостей мереж Петрі є інваріанти позицій ( $p$ -інваріанти) і інваріанти переходів ( $t$ -інваріанти) [88,

91,]. Такі інваріанти дозволяють визначити структурні властивості мережі, що не залежать від конкретного маркування. Відповідно до [89] кожен  $t$ -інваріант мережі Петрі є  $p$ -інваріантом двоїстої мережі, тому не обмежуючи узагальненості дослідження, наглядно та зручно розглядати тільки  $p$ -інваріанти.

У даній роботі наведені мережі, що допускають повторні запуски активних переходів, тобто переходи мережі є багатоканальними; а обмеження на кількість каналів накладаються за допомогою маркування відповідних позицій.

Розроблені часові мережі є асинхронними та мають властивість паралелізму, при якому у певному маркуванні одночасно дозволені два або більше переходи без спільних вхідних позицій. Для наданих моделей також властивий принцип раннього спрацьовування переходів, тобто переходи повинні спрацювати при заданому маркуванні, якщо тільки їм не завадять конфліктні з ними переходи.

Таким чином, виконується правило максимального кроку спрацьовування, коли у будь-який момент часу спрацьовує максимальна кількість дозволених переходів.

Безпека – важлива властивість для апаратної реалізації. Безпечна позиція має число міток 0 або 1 і може бути реалізована одним спрацьовуванням. Враховуючи специфіку функціонування процесів, що відтворюються у розробленій моделі, поняття безпечності мережі суперечить фізичному представленню технологічних процесів роботи залізничної станції за допомогою руху відповідної кількості міток через переходи, відтворюючи кількісну зміну фізичних об'єктів, що входять до підсистеми (кількості вагонів, поїздів, локомотивів тощо). Тому теоретично розроблені мережі не є безпечними.

Однак, згідно визначення терміну [89, 91], безпека – це окремий випадок обмеженості, а саме 1-обмеженість. Обмеженість (або  $k$ -обмеженість) має місце, якщо кількість міток у будь-якій позиції мережі не

може перевищити значення  $k$ . Розроблені моделі є  $k$ -*max*-обмеженими, оскільки обмежені усі їх позиції з огляду на фізичну сутність об'єктів моделювання та наявності заданої  $k$ -*max*-ємності окремих позицій у кожній мережі для встановленого початкового маркування, де  $k$ -*max* – найбільша дозволена кількість міток у позиціях мереж.

Оскільки при дискретному процесі повинна забезпечуватись можливість його відновлення, то мережа Петрі у таких випадках повинна бути живою, тобто усі її маркування, доступні з початкового позначення, повинні дозволити запуск будь-яких переходів у мережі при певній послідовності спрацьовувань. Але ця вимога є надто обмежуючою для представлення реальної підсистеми, тому у [79, 91] були введені кілька різних рівнів життєдіяльності системи. Відповідно до цієї класифікації, розроблені у роботі моделі у мережі Петрі будуть  $L_i$ -живими для їх маркування, і кожний перехід у мережах  $L_i$ -живий (потенційно живі мережі).

Розроблені мережі Петрі є чистими, або вільними від циклів, оскільки у них немає місць, які є одночасно місцем входу і місцем виходу для одного й того ж переходу.

Крім того, серед додаткових властивостей мереж Петрі у розроблених моделях слід зазначити наступні: вони є маркованими, статичними без конфліктів, неконсервативними, однорідними, з'єднаними, структурно обмеженими, з простою розширеністю, без повного покриття напівдодатніми  $t$ -інваріантами.

Таким чином, побудовані у мережах Петрі імітаційні моделі функціонування станцій припортового вузла дозволяють оцінити показники об'єктів підсистеми у реальному часі.

Моделювання процесу роботи станцій дозволяє дослідити технологічні процеси у підсистемі СС-ВС-РП для визначення потрібного числа маневрових локомотивів у підсистемі формування сортувальної станції, для визначення числа та величини передач і подач вагонів на

вантажні fronti згідно комплексу оптимізаційних моделей, представлено у пункті 2.2 роботи.

3.5 Моделювання процесу функціонування транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту»

Для розрахунку раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів на станціях припортового залізничного вузла призначенням на вантажні fronti розроблено програмне забезпечення у середовищі Microsoft Excel.

З метою розрахунку потрібного числа маневрових локомотивів для роботи у підсистемі формування опорної сортувальної станції на основі математичної моделі (2.7) оптимізації продуктивності роботи локомотивів необхідно визначити рівень завантаження маневрових локомотивів підсистеми формування сортувальної станції:

$$\rho_{M_{CC}} = \frac{\left(\frac{N_{nep}}{m}\right) \cdot [(1 - \varepsilon_{CB}) \cdot (t_{зф} + t_{nep} + t_{нов}) + \varepsilon_{CB} \cdot t_{зф}]}{M_{CC} \cdot (1440 \cdot \alpha_c - \sum T_{ном})}, \quad (3.6)$$

де  $N_{nep}$  – добовий обсяг вагонів, які надходять у переробку до сортувального парку;

$m$  – середнє число вагонів у складі поїзда свого формування;

$\varepsilon_{CB}$  – частка поїздів, що відправляються безпосередньо з сортувальних колій, від загальної кількості відправлених поїздів;

$t_{зф}$  – середньозважена тривалість закінчення формування одного складу, хв.;

$t_{пер}, t_{нов}$  – тривалість відповідно перестановки сформованого складу поїзда на колії відправлення і повернення локомотива у район формування, хв.;

$\alpha_c$  – коефіцієнт, що враховує можливі перерви у використанні витяжних колій через ворожі переміщення;

$\sum T_{пост}$  – тривалість заняття сортувальної гірки постійними операціями з екіпірування маневрових локомотивів, технічного обслуговування гіркових пристроїв, що вимагає припинення розпуску, розформування груп вагонів з колій ремонту, вагонного депо, місцевих вагонів та ін., хв.

Число маневрових локомотивів повинно бути технологічно обґрунтовано. З цією метою необхідно провести розрахунки обсягу маневрової роботи для кожної станції вузла. До того ж, наявність системи обмежень у моделі (2.8) зумовлює дотримання умови, що для сортувальних станцій рівень завантаження маневрових локомотивів, задіяних у процесі формування поїздів,  $\rho_{Мсс}$ , повинен бути не менше 0,4 і не більше 0,75.

За результатами імітаційного моделювання роботи сортувальної станції Одеса-Сортувальна Одеського припортового вузла у середовищі мереж Петрі з визначення тривалості виконання технологічних операцій у підсистемі формування станції було побудовано залежність рівня завантаженості маневрових локомотивів у підсистемі формування станції від їх кількості, наведену на рисунку 3.4. Як видно з рисунку, у допустимий інтервал величини рівня завантаження маневрових локомотивів увійшли три значення числа локомотивів – п'ять, шість і сім.

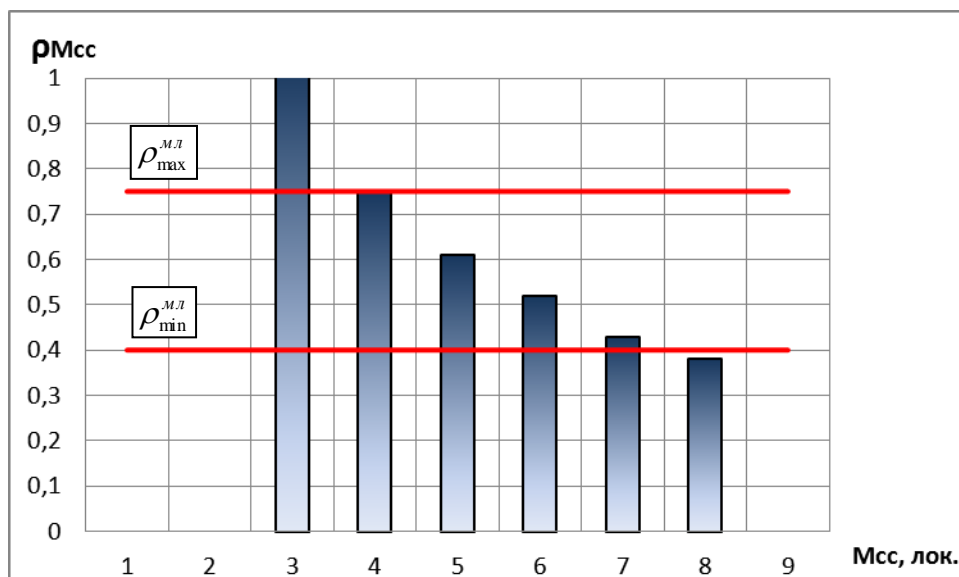


Рисунок 3.4 – Залежність рівня завантаженості маневрових локомотивів у підсистемі формування сортувальної станції від їх кількості

Таким чином, враховуючи невелику кількість можливих рішень, для задачі розрахунку потрібної кількості маневрових локомотивів для роботи у підсистемі формування опорної сортувальної станції, доцільно застосувати метод спрямованого перебору варіантів [92, 93], в основу якого покладена ідея гілок та границь і який дозволяє знайти одне з допустимих рішень за короткий час [94-97].

Продуктивністю роботи маневрових локомотивів є кількість оброблених вагонів, що приходить на один локомотив за період часу [14]. Для проведення розрахунків максимізації продуктивності роботи локомотивів було обрано 4-годинний період оперативного планування роботи станції Одеса-Сортувальна. Графічну інтерпретацію результатів розрахунку потрібного числа маневрових локомотивів для роботи у підсистемі формування наведено на рисунку 3.5. Як видно з рисунку, з урахуванням обмежень щодо величини максимального значення продуктивності роботи маневрових локомотивів досягається при роботі 5 локомотивів і складає 39 ваг./лок.-год.

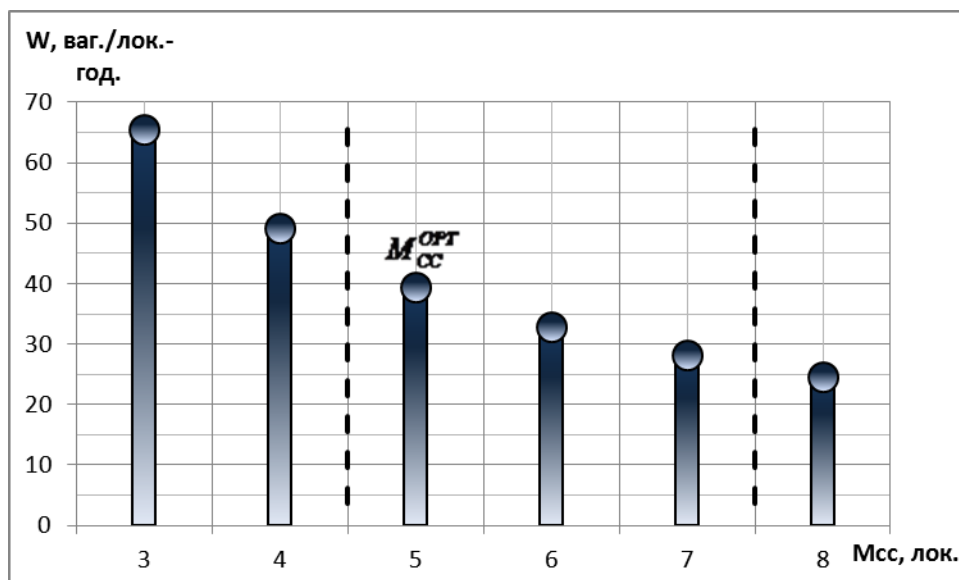


Рисунок 3.5 – Залежність продуктивності маневрових локомотивів у підсистемі формування сортувальної станції від їх числа

Таким чином, забезпечення обсягів виконуваної роботи з формування складів поїздів на сортувальній станції Одеса-Сортувальна при застосуванні технології обробки вагонів призначенням на вантажні fronti порту на основі їх пріоритетності досягається при використанні трьох власних локомотивів сортувальної станції та двох маневрових локомотивів припортової вантажної станції Одеса-Порт.

Оскільки задача мінімізації експлуатаційних витрат від скорочення простою вагонів у транспортній підсистемі відноситься до задач цілочисельного нелінійного дискретного програмування з системою лінійних обмежень, та враховуючи велику розмірність поставленої задачі, проведено її розв'язання за допомогою методу узагальненого приведенного градієнта [98-100], який є окремим випадком методу можливих напрямків.

Метод приведенного градієнта заснований на скороченні розмірності задачі за допомогою представлення усіх змінних через множину залежних і незалежних змінних. Це досягається проекцією градієнта цільової функції на площину, проведену на нелінійну поверхню, що описується рівняннями системи обмежень. Напрямок руху визначається градієнтом функції через похідні цільової функції по незалежним змінним. Залежні змінні цільової

функції є неявною функцією від незалежних змінних у системі рівнянь, які визначають обмеження задачі.

На рисунку 3.6 зображено графічну інтерпретацію результатів моделювання процесу функціонування транспортної підсистеми.

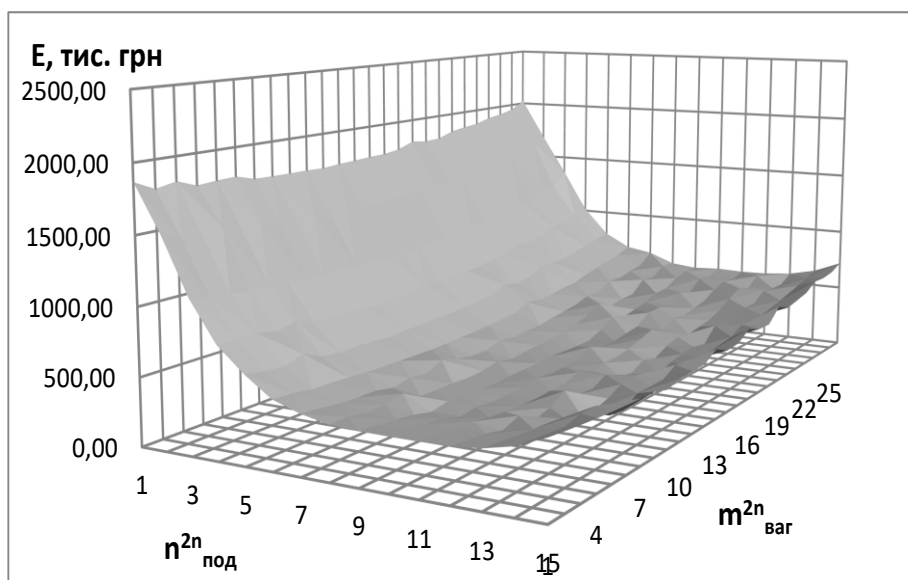


Рисунок 3.6 – Залежність експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі СС-ВС-РП від числа та величини подач вагонів на вантажні фронти при  $n_{пер}^{1n} = 4$ ,  $m_{ваг}^{1n} = 18; 24; 17; 29$  ваг.

У результаті моделювання доведено існування мінімуму цільової функції експлуатаційних витрат на обробку вагонопотоків у транспортній підсистемі СС-ВС-РП, що дозволяє сформувати процедуру оптимального управління конструктивно-технологічними параметрами процесу обробки вагонів на залізничних станціях припортового вузла призначенням на вантажні фронти.

Сформований комплекс оптимізаційних моделей є універсальним і забезпечує виконання заданих обсягів обробки вагонів на станціях припортового вузла з мінімальними витратами часу та матеріальних ресурсів за заданий період планування.



### 3.6 Оцінка адекватності і стійкості моделі процесу обробки вагонів у транспортній підсистемі

З метою перевірки ступеня адекватності розробленої моделі з визначення раціональних параметрів процесу обробки вагонів у транспортній підсистемі необхідно перевірити результати моделювання на відповідність показникам процесів на реальному об'єкті [101-103].

Як було зазначено раніше, в основу визначення експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі покладено розрахунок тривалості простоїв вагонів під технологічними операціями у системі, які визначають величину витрат через вартість відповідних простоїв як кінцеву мету дослідження. Таким чином, оцінка адекватності розробленої моделі з отримання результатів для визначення раціональних параметрів процесу обробки вагонів у транспортній підсистемі зводиться до оцінки адекватності виразів, що використовуються для розрахунку тривалості простоїв вагонів.

Одним з найбільш поширених способів формального обґрунтування адекватності моделі є використання методів математичної статистики [104, 105]. Суть цих методів полягає у перевірці висунутої гіпотези про адекватність моделі на основі деяких статистичних критеріїв.

Однак з огляду на те, що при перевірці адекватності моделі може бути використано лише обмежена підмножина можливих значень вхідних параметрів, для обґрунтування достовірності отриманих результатів моделювання велике значення має перевірка стійкості моделі [105]. Під стійкістю моделі слід розуміти її здатність зберігати адекватність при дослідженні ефективності підсистеми протягом усього діапазону вхідних параметрів, а також при внесенні змін у параметри підсистеми.

Для перевірки гіпотези про адекватність і стійкість результатів може бути використаний непараметричний критерій Вілкоксона, який служить для перевірки того, чи належать вибірки фактичних і розрахункових

значень результатів до однієї і тієї ж генеральної сукупності (тобто чи властивий їм одна й та ж статистична ознака) [106, 107]. Однією з особливостей застосування такого методу є будь-який розподіл випадкових величин, що досліджуються.

Суть методу полягає у зіставленні абсолютних величин зрушень у тому чи іншому напрямку. Для цього спочатку всі абсолютні величини зрушень ранжуються, а потім визначається сума рангів. Якщо зрушення у той чи інший напрямок відбуваються випадково, то суми їх рангів виявляються приблизно рівні. Якщо ж інтенсивність зрушень в одну сторону більше, то сума рангів абсолютних значень зрушень в протилежну сторону буде значно нижче, ніж це могло б бути при випадкових змінах.

Перевірка адекватності та стійкості моделі проходить для  $n$  спостережень у такій послідовності:

– визначається різниця  $\delta_i$  між значеннями показників  $Y_i$  фактичної вибірки  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$  та відповідними значеннями показників  $y_{pi}$  розрахункової вибірки  $Y_p = \{y_{p1}, y_{p2}, \dots, y_{pn}\}$ :

$$\delta_i = y_i - y_{pi}. \quad (3.7)$$

При цьому нульові зрушення виключаються з подальших розрахунків.

– визначається типова (переважна за частотою зміни показників у кожному напрямку) і нетипова сума різностей за абсолютними значеннями різностей:

$$\Delta(+) = \sum_{i=1}^n |\delta_i^+|, \quad \Delta(-) = \sum_{i=1}^n |\delta_i^-|. \quad (3.8)$$

– проводиться ранжування різностей за їх абсолютним значенням шляхом присвоювання величини рангу  $R_i$  у порядку зростання. При цьому меншому абсолютному значенню різності приписують менший ранг;

– розраховується сума рангів, що відповідає нетиповим зрушенням, яка є емпіричним критерієм Вілкоксона:

$$T_{ем.м} = \sum R_{нетип}. \quad (3.9)$$

– порівнюється величина емпіричного критерію Вілкоксона  $T_{емн}$  з табличним  $T_{кр}$ , який визначається за кількістю спостережень  $n$  та рівнем значущості  $\alpha$ . Якщо емпіричне значення критерію менше табличного або дорівнює йому, то визнається статистична значимість змін показника у типову сторону. Якщо  $T_{емн} > T_{кр}$ , то приймається нульова гіпотеза про відсутність статистичної значущості змін досліджуваного показника.

Нормована статистика критерію Вілкоксона визначається як [106]

$$Z = \frac{\sum R_{мин} - \frac{n \cdot (n+1)}{4}}{\sqrt{\frac{n \cdot (n+1) \cdot (2n+1)}{24}}}, \quad (3.10)$$

де  $\sum R_{мин}$  – сума рангів типових зрушень показників.

Для використання статистики критерію знакових рангів Вілкоксона користуються відповідними таблицями і програмним забезпеченням або застосовують асимптотичні співвідношення. Оскільки при кількості спостережень у вибірках більше 25 розподіл статистик Вілкоксона є асимптотично нормальним, то правило прийняття рішення для критерію Вілкоксона має вигляд:

– якщо  $T_{eml} \leq \Phi\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ , то гіпотеза однорідності функцій розподілу

приймається на рівні значущості;

– якщо  $T_{eml} > \Phi\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ , то гіпотеза однорідності функцій розподілу

відхиляється.

На практиці найбільш часто застосовується рівень значущості  $\alpha=0,05$ . Тому значення модуля статистики Вілкоксона необхідно порівнювати з граничним значенням  $\Phi\left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) = 1,96$ .

При аналізі фактичних даних,  $Y$ , і даних вибірки, отриманої за допомогою моделі,  $Y_p$ , у кількості 50 спостережень у кожній було визначено розрахункові та абсолютні значення їх різностей (додаток Г). Проведене ранжування абсолютних різностей показало, що типове зрушення спостерігається у додатній бік, а емпіричний коефіцієнт Вілкоксона склав 88. Оскільки критичний коефіцієнт при даному обсягу вибірки і рівні значущості 0,05 дорівнює 466, тому робимо висновок про статистичну значимість змін показника тривалості простоїв вагонів у транспортній підсистемі у типову сторону.

Згідно даних таблиці Г.1 нормована статистика дорівнює

$$Z = \frac{824 - \frac{50 \cdot (50+1)}{4}}{\sqrt{\frac{50 \cdot (50+1) \cdot (2 \cdot 50+1)}{24}}} = 1,80 < 1,96.$$

Отже, умова приймання гіпотези про однорідність функцій розподілу тривалості простоїв у транспортній підсистемі виконується на рівні значущості 0,05, а вибірки фактичних та розрахованих даних можна вважати належними до однієї генеральної сукупності.

### 3.7 Висновки до розділу 3

1. Для визначення величини вагонопотоку для обробки за пріоритетною технологією розроблено процедуру виділення вагонів із загального вагонопотоку, яка дає можливість враховувати такі технологічні параметри транспортної підсистеми, як кількість причалів порту, кількість вантажних фронтів на причалах, переробну спроможність припортової станції, кількість колій сортувального парку на сортувальній станції, що має визначальне значення при формуванні подач вагонів призначенням у порт.

2. З метою реалізації пріоритетної технології обробки вагонів у транспортній підсистемі удосконалено метод розрахунку числа колій у сортувальному парку, запропонований к. т. н. А. М. Сухоп'яткіним. Удосконалений метод дозволяє врахувати параметри розподілу тривалості накопичення вагонів кожного призначення на состав передавального поїзда та величини составу передавального поїзда на адресу вантажної станції, що забезпечує наближеність результатів розрахунків до реальних умов функціонування транспортних об'єктів.

3. Проведення імітаційного моделювання роботи сортувальної і вантажної станцій припортового вузла у середовищі мереж Петрі дозволило визначити обсяги маневрових робіт, що проводяться у транспортній підсистемі, для подальшого їх застосування в оптимізаційних розрахунках раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів на станціях припортового залізничного вузла.

4. Аналіз системних властивостей імітаційних моделей функціонування станцій припортового вузла показав, що розроблені моделі дозволяють дослідити конструктивно-технологічні процеси у підсистемі СС-ВС-РП та оцінити показники об'єктів підсистеми у реальному часі.

5. Перевірка розробленої оптимізаційної моделі визначення числа та величини передач і подач на адресу порту, що формуються на опорній СС, на адекватність за критерієм Вілкоксона довела, що з урахуванням значення нормованої статистики вибірки фактичних та розрахованих даних можна вважати належними до однієї генеральної сукупності.

6. У результаті моделювання доведено існування мінімуму цільової функції експлуатаційних витрат на обробку вагонопотоків у транспортній підсистемі СС-ВС-РП, що дозволяє сформулювати процедуру оптимального управління конструктивно-технологічними параметрами обробки вагонів на залізничних станціях припортового вузла призначенням на вантажні fronti.

7. Запропонований комплекс оптимізаційних математичних моделей є основою формування автоматизованої технології розрахунку поточних конструктивно-технологічних параметрів обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні fronti морських портів та підприємств, яку пропонується реалізувати у вигляді системи підтримки прийняття рішень диспетчерського апарату припортового вузла.

## РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ВИМОГ ДО АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ  
РОЗРАХУНКУ ПОТОЧНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ВАГОНІВ У ПРИПОРТОВОМУ  
ВУЗЛІ ТА ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЇЇ  
ВПРОВАДЖЕННЯ

4.1 Формування вимог до системи підтримки прийняття рішень з формування составів передавальних поїздів на адресу припортових станцій

Геополітичне розташування залізничних станцій припортових вузлів на українському узбережжі дає змогу гнучко змінювати технологію роботи сортувальної станції на основі оптимального завантаження технічних пристроїв та розвитку інформаційної взаємодії з припортовими станціями. В основу інформаційної взаємодії сортувальної станції з припортовими слід покласти електронний документообіг натурального листа та електронної накладної, які є основою для сортування і розподілу вагонопотоків на зазначених станціях. Це дозволить під час сортування вагонів підбирати подачі з вагонів не тільки у порт, а й під окремий причал і навіть судно.

В одному інформаційному просторі необхідно задіяти сортувальні та припортові станції. Це значно підвищить пропускну спроможність припортових станцій і збільшить обсяги обробки експортних вагонів у портах. Таким єдиним інформаційним середовищем можуть стати автоматизовані робочі місця маневрового диспетчера сортувальної станції та диспетчера залізничної служби порту припортової станції, створені на основі електронного документообігу між ними з базою, яка також поєднає у собі інформацію про стан обробки кожного експортного вагона та інформацію про причал або вантажний фронт, на який прямує вагон.

Для реалізації розробленого у 2 і 3 розділах комплексу оптимізаційних моделей з розрахунку раціональних параметрів процесу

обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні fronti виникає необхідність створення системи підтримки прийняття рішень з формування составів передавальних поїздів на адресу припортової станції. Зазначена СППР повинна допомогти оперативним працівникам станцій припортового вузла в управлінні на рівні планування місцевої роботи. В основу такої СППР повинна бути закладена сукупність взаємопов'язаних дій, що послідовно виконуються та визначають ведення таких технологічних процесів підсистеми формування станції:

- розформування составів на гірці;
- підбирання подач і передач вагонів призначенням на вантажні fronti;
- формування составів передавальних поїздів;
- розподіл маневрових локомотивів підсистем формування сортувальної та припортової станцій згідно обсягів виконуваної роботи.

Ці завдання повинні вирішуватися у певній послідовності по мірі надходження відповідної інформації та готовності технічних засобів. Для завдання такої послідовності необхідно дотримуватися певного регламенту роботи, який реалізується у нових інформаційних технологіях [108], зокрема в інтеграції СППР до автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера (АРМ ДСЦ) опорної сортувальної станції.

Для ефективної реалізації СППР необхідне надання оперативного доступу до єдиної автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ-Є) [109, 110] та міжнародної системи стандартів електронного обміну даними UN/EDIFACT [111] з метою обробки отриманої інформації для проведення розрахунків раціональних конструктивно-технологічних параметрів з формування составів передавальних поїздів на адресу припортових станцій. Надання необхідної інформації повинно відбуватися за запитом маневрового диспетчера опорної сортувальної станції, оброблене у автоматизованій системі та бути оформлене у вигляді готового рішення щодо плану місцевої роботи на



станції на найближчий період роботи на основі представленого у 2 і 3 розділах роботи комплексу оптимізаційних моделей.

Структура СППР повинна складатися з послідовності функціональних блоків, яким відповідає певний набір операцій, що визначають процес автоматизованого розрахунку поточних раціональних конструктивно-технологічних параметрів обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні фронти. Інформаційний взаємозв'язок завдань, що реалізуються у процесі їх вирішення у масштабі реального часу, відображається схемою структури функціональних блоків у складі інформаційно-плануючої системи, що наведена на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Схема функціонування СППР з формування складів передавальних поїздів

→ послідовність виконання операцій;  
 → ---→ відповідно прямий та зворотній зв'язок блоків

На першому етапі застосування СППР відбувається вибір періоду планування місцевої роботи на сортувальній станції. Враховуючи функції та характер вхідної інформації, що має оброблятися у системі, доцільним є застосування сеансового режиму планування роботи розробленої СППР. Такий режим є більш ефективним у порівнянні з безперервним, але він реалізується при високій достовірності вхідної інформації і мінімальних відхиленнях від складених планів виконання технологічних процесів. Обмеження вхідної інформації певним періодом часу необхідно для виключення помилок при обчисленні відхилень. Але у випадку виникнення таких помилок це ніяк не повинно відобразитися на результатах планування.

Разом з тим, перерахунок по кожному відхиленню значно знижує якість контролю з боку маневрового диспетчера, а встановлення досить великої дискретності планування призведе до старіння вхідної інформації. У зв'язку з цим необхідне встановлення такої періодичності розрахунку, що дає можливість проведення контролю технологічних процесів, а старіння інформації знаходиться у допустимих межах. Тому мінімальним періодом планування роботи на сортувальній станції обрано 4-годинний період, а максимальним – 6-годинний, що не тільки відповідає традиційному періоду оперативного планування на технічних станціях, а й забезпечить найбільшу точність вхідної інформації від сусідніх технічних станцій на маршруті прямування вагонопотоків для проведення автоматизованих розрахунків.

Після вибору періоду планування відбувається збір та обробка попередньої інформації для виконання розрахунків. Передбачається, що СППР працюватиме на основі обробки даних, які, окрім інформації про вагони із системи АСК ВП УЗ-Є, будуть містити дані про судна, що надходять до порту, із системи стандартів UN/EDIFACT, у тому числі із стандарту залізничних перевезень UIC 912 і стандарту міжнародної торгівлі EANCOM.

Вихідними даними для наступної їх обробки є така інформація:

- очікуваний час прибуття судна до морського порту;
- інформація про країну приналежності судна, країну-власника вантажів;
- інформація про причал стоянки та подальший маршрут прямування судна;
- види та обсяги вантажів, що плануються до перевезення через припортові станції;
- тип, приналежність та кількість рухомого складу, задіяного для перевезення залізницею;
- наявність негабаритності вантажів, інформація про клас небезпечних вантажів, необхідність особливих умов перевезення або зберігання;
- інша інформація та наявність факторів впливу на проведення автоматизованих розрахунків (метеорологічний прогноз, період навігації суден, інформація про стивідорів тощо).

При цьому враховуються також дані про виконання результатів попереднього періоду планування, зокрема, інформація про вільні колії сортувального парку, наявність залишкових вагонів на сортувальних коліях, зайнятість колій вантажних фронтів та готовність їх технічних засобів і т.д.

Після цього проводиться розрахунок конструктивно-технологічних параметрів, що мають визначальне значення на результати автоматизованого розрахунку параметрів для формування составів передавальних поїздів на припортові станції: визначається величина пріоритетного вагонопотоку та необхідна для його обробки кількість сортувальних колій у парку; розраховується кількість та склад передач, сформованих за пріоритетною технологією, та кількість та склад подач вагонів за традиційною технологією; проводиться розрахунок потрібної кількості маневрових локомотивів підсистеми формування станції та

визначається необхідність залучення маневрових локомотивів припортової станції; формується кількісний склад передавальних поїздів, сформованих за пріоритетною та за традиційною технологією згідно визначених обсягів передач і подач відповідно.

По завершенні розрахунків формується вихідний документ, який містить докладну інформацію по усім проведеним розрахункам і повинен бути внесеним до електронної бази АСК ВП УЗ-Є для використання у перевізному процесі, та є підставою для оперативного керування місцевою роботою на станціях припортового вузла.

#### 4.2 Удосконалення автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера сортувальної станції

Розроблений інтерфейс СППР для інтеграції у АРМ ДСЦ представлений у вигляді таблиць та комірок для заповнення, він є досить простим та зручним у використанні.

Діалогове вікно «Інформація про поїзди» (рисунок 4.2) відображає ситуацію у реальному часі шляхом представлення наступних даних. Для перегляду маневровому диспетчеру доступні номери поїздів, що були розформовані у попередній період роботи, без можливості їх застосування до наступних розрахунків, а також номери тих поїздів, що вже прибули на станцію та/або планується їх прибуття в обраному інтервалі часу. Передбачається можливість обрати кількість поїздів, вагони яких пройдуть обробку на станції у наступний період планування. По кожному з таких поїздів відображається інформація про номери вагонів, наявність вантажу в них, місце призначення на кінцевому шляху прямування вагонів та інформація про небезпечні вантажі або негабаритність вантажів у вагонах за наявності таких.

а)

**Інформація про поїзди**

Номер поїзда	Очікуваний час прибуття	Інформація про вагони			
		Номер вагонів	Призначення	Стан	Особливі відмітки
2419	05:18	64121833	причал 7	0	
3221	06:40	69034852	причал 8	1	
3055	07:38	20635819	причал 12	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	2421	20339487	причал 12	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	3223	70544937	причал 24	1	3 клас небезп
<input type="checkbox"/>	3057	70620810	причал 24	1	3 клас небезп
<input type="checkbox"/>	3225	22855692	причал 9	0	
<input type="checkbox"/>	3227	23140494	причал 8	0	
<input type="checkbox"/>	3059	41650326	конт терм	1	H2430
<input type="checkbox"/>	2423	40089450	конт терм	1	
<input type="checkbox"/>	3229	72331366	причал 24	1	
		3223			
		90802547	причал 13	1	
		70512116	причал 24	1	
		72376932	причал 25	0	
		66140526	причал 7	1	
		63084487	причал 7	1	
		74854688	причал 3	0	
		63231823	причал 8	1	

Примітка: 0 - порожній, 1 - завантажений

**Оновити**

**Інформація про вагони** **Оптимізація** **Вихід**

б)

**Результати оптимізації**

Пріоритетна технологія				Традиційна технологія			
Номер поїзда	Призначення	Номер колії СП	Номер вагону	Номер поїзда	Призначення	Номер колії СП	Номер вагону
	причал 8	14	63231823		причал 3	11	74854688
		14	69034852		причал 24	11	70544937
		14	64183023			11	70620810
	причал 12	14	69017259			11	72331366
		15	20635819			11	70512116
		15	20339487		причал 25	11	72376932
		15	20381422		причал 13	12	90802547
		15	20551305			12	90353541
		15	20419685		причал 9	12	22855692
		15	20484838			12	22379143
		15	20517447		причал 7	12	66140526
3605						12	63084487
	конт терм	16	41650326			12	64120975
		16	40089450		причал 2	13	45159183
		16	41661240			13	44323160
		16	41516709			13	45338100
		16	40123770			13	63126452
		16	40923674		причал 15	18	74211566
		16	41161936			18	73379943
		16	41618554			18	70110473
		16	40838476		причал 6	13	21144563
		16	42126566			13	22247134
		16	41217035			13	23245574
		16	41945684			13	24113730
		16	41639014			13	21646955
		16	40073397	3609			
		16	42611582		конт терм	11	46212452
		16	42238410			11	43913748

Необхідно маневрових локомотивів

**Повернутися** **Друквати** **Вихід** **Пошук вагонів**

Рисунок 4.2 – Вікна інтерфейсу СППР автоматизованого робочого місця ДСЦ опорної сортувальної станції: а) діалогове вікно завдання вихідних даних, б) результати оптимізації параметрів обробки вагонів

Передбачена також можливість отримання додаткової інформації про вагони кожного поїзда, яка містить дані про вид вантажу, його власника, станцію і дату навантаження, місце прямування, дані про отримувача і інформацію про судно, яким передбачається подальше перевезення вантажу, якщо він є експортним. При надходженні запитаної інформації неповною або збоях у з'єднанні з базами даних передбачена можливість її оновлення без оформлення повторного звернення до системи.

По закінченні вибору обсягів робіт на період планування наступним кроком є активація режиму «Оптимізація», який передбачає проведення розрахунків з визначення конструктивно-технологічних параметрів для формування составів передавальних поїздів.

Результати автоматизованих оптимізаційних розрахунків представлені на рисунку 4.2 у вигляді двох таблиць, які відображають зведену інформацію про состави передавальних поїздів, сформованих відповідно за пріоритетною та традиційною технологіями. По кожному поїзду доступні номер поїзда з урахуванням прогнозованого часу його готовності до відправлення, пономерні дані про вагони, розміщені окремими групами згідно вантажного фронту їх призначення із зазначенням номерів колій, на які відбуватиметься розформування составів поїздів на сортувальній станції. Також відображається кількість маневрових локомотивів у підсистемі формування станції, необхідних для виконання заданих обсягів сортувальної роботи. Додатково передбачена функція пошуку вагонів шляхом введення їх номерів і звернення до системи, що дозволяє в режимі реального часу отримати інформацію про состав і номер поїзда, до якого ці вагони включені.

При необхідності отримання роздрукованих результатів оптимізації видається оновлений сортувальний листок, який окрім стандартної інформації містить визначені у системі дані. Також на них повинна бути

зазначена кількість маневрових локомотивів, яку за необхідності потрібно залучити з припортової станції.

Удосконалення АРМ маневрового диспетчера сортувальної станції дозволяє завчасно врахувати величину насичення місцевими вагонами станцій, що приймають участь в обробці вагонопотоків призначенням у морські порти, розподілити обсяги сортувальної роботи між станціями вузла в умовах існуючого технічного забезпечення, а також раціонально використовувати колійний розвиток сортувальних станцій та маневрові локомотиви для виконання сортувальної роботи з формування передавальних поїздів з метою зниження обсягів маневрової роботи на припортових станціях в умовах обмеженості їх технічних потужностей.

Крім того, згідно з Угодою про міжнародне залізничне вантажне сполучення [112], при прямуванні вантажів через морські порти або прикордонні передавальні станції залізниць України в непрямому міжнародному сполученні, у накладній форми ГУ-29-О відправник повинен зробити, а працівник припортової станції, який оформляє перевізні документи, перенести у дорожню відомість і корінець дорожньої відомості у графу «Одержувач» одну з таких позначок:

– при перевезенні експортних вантажів через морські порти – «Для вивезення водним транспортом у ... (зазначається країна і порт призначення)»;

– при перевезенні імпорتنих вантажів через морські порти – «ввезено водним транспортом з ... (вказується країна, порт відправлення)».

Вантажовідправник має право робити у графі 4 зворотного боку накладної інші, не встановлені відповідними правилами перевезень вантажів на залізничному транспорті, позначки. Тому для забезпечення якісного підбору груп вагонів за причалами та вантажними фронтами пропонується використання цієї графи для заповнення в єдиному інформаційному просторі.

Таким чином, інтеграція розробленої СППР до АРМ ДСЦ опорної сортувальної станції забезпечує координацію роботи станцій припортового вузла та морського порту у режимі реального часу шляхом розрахунку конструктивно-технологічних параметрів процесу обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні фронти з урахуванням інформації як з боку залізниці, так і з боку морського порту, що задовольняє інтересам кожного учасника перевізного процесу. Однією з переваг такого режиму взаємодії роботи об'єктів залізничного та морського видів транспорту є забезпечення своєчасності подавання вагонів на вантажні фронти морських портів у заданих обсягах без необхідності узгодження цього процесу оперативними працівниками відповідних служб протягом зміни. До того ж, застосування розробленої СППР дає можливість прогнозування часу доставки вантажу із залізниці до пунктів стикування, що дає можливість уточнення часу початку виконання вантажних операцій, а також більш точне і детальне інформування клієнтів про перебування вантажу у процесі доставки залізницею завдяки плануванню обслуговування в оперативному режимі.

4.3 Економічне обґрунтування ефективності впровадження запропонованої технології обробки вагонопотоків у транспортній підсистемі з урахуванням їх пріоритетності

З метою обґрунтування економічної ефективності від впровадження розробленої у роботі технології обробки вагонопотоків у транспортній підсистемі, що обслуговує морські порти, виконано порівняння двох варіантів обробки вагонів. Перший варіант ґрунтується на діючій технології роботи станцій припортового вузла, другий варіант – на основі застосування пріоритетності обробки вагонів призначенням у морські порти із застосуванням автоматизованого робочого місця маневрового



диспетчера сортувальної станції. Економічна ефективність досягається за рахунок зменшення тривалості простоїв вагонів у транспортній підсистемі, що дозволить скоротити експлуатаційні витрати на їх обробку [113].

Згідно проведених досліджень показників роботи транспортної підсистеми, яка складається з сортувальної станції Одеса Сортувальна і припортової вантажної станції Одеса Порт Одеського морського торгового порту на основі автоматизації розрахунку обсягів вагонопотоків для пріоритетної обробки встановлено, що цей обсяг складає 562 вагони із загального вагонопотоку, що надходить у підсистему.

При впровадженні запропонованої технології обробки вагонопотоків передбачаються капітальні та експлуатаційні витрати, вихідні дані для розрахунку яких наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для техніко-економічної оцінки обробки вагонів у припортовому вузлі

Показник	Величина
<i>1</i>	<i>2</i>
Простий вагонів у припортовому вузлі при діючій технології, год.	59,2
Простий вагонів у припортовому вузлі при запропонованій технології, год.	55,05
Питомі витрати на 1 вагоно-годину простою вагона на станції, грн.	20,59
Середній склад вантажного поїзда формування на адресу припортової станції, ваг.	36
Питомі витрати на 1 годину роботи маневрового тепловоза, грн.	681,76
Одноразові витрати на науково-дослідну роботу (НДР), грн.	300000
Розрахунковий перший рік здійснення проекту	2020

Продовження таблиці 4.1

<i>1</i>	<i>2</i>
Життєвий цикл проекту, роки	5
Дисконтна ставка комерційних банків за депозитними вкладами, %	18
Очікуваний рівень інфляції, %	7
Ставка, що враховує ступінь ризику здійснення проекту, %	3

Формалізовані методи прогнозування кількісних показників полягають у математичному описі розвитку об'єкта на основі наявних статистичних даних за минулий період. Для надання прогнозної оцінки обсягів надходження вагонів у транспортну підсистему СС-ВС-РП на наступні п'ять років застосовано метод екстраполяції на основі змінної середньої, який передбачає згладжування фактичних значень часового ряду обсягів переробки за попередні п'ять років (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2 – Фактичні значення надходження вагонів у транспортну підсистему

Роки	2014	2015	2016	2017	2018
Розмір вагонопотоків, ваг./добу	576	602	643	661	698

Для отримання згладженого часового ряду використовують принцип усереднення фактичних значень на основі змінної середньої, яке передбачає послідовну розбивку фактичних значень часового ряду на окремі групи і визначення середніх значень для кожної групи. Для кожної середньої точки групи визначається згладжене значення як середня арифметична величина.

Проведемо згладжування статистичних даних на основі визначення змінної середньої. Такий метод здійснюється послідовним переміщенням уздовж точок фактичного ряду із послідовним зміщенням на одну точку.

Для визначення середнього (згладженого) значення правої крайньої точки фактичного часового ряду використовується формула

$$\bar{y}_{+1} = \frac{5y_{+1} + 2y_0 - y_{-1}}{6}, \quad (4.1)$$

де  $\bar{y}_{+1}$  – згладжене значення правої крайньої точки фактичного ряду;

$y_{-1}; y_0; y_{+1}$  – значення останніх трьох точок фактичного ряду.

Згідно розрахованих згладжених та прогнозованих значень точок часового ряду побудовано графік (рисунок 4.3). Як видно з графіку, наведена функція відповідає лінійній функції  $y=ax+b$ , де  $x$  – номер року для розрахунку.

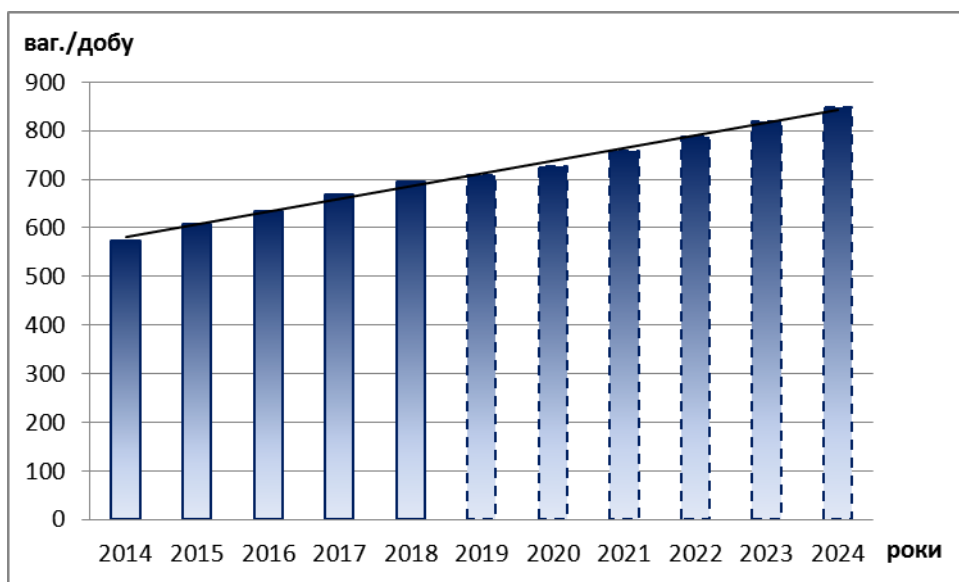


Рисунок 4.3 – Графік згладжених значень та лінія тренду часового ряду обсягів надходження вагонів у транспортну підсистему

Динаміка обсягів надходження вагонів у транспортну підсистему описується залежністю  $y = 30,3x + 545,1$  з достовірністю апроксимації

99,00%, що свідчить про дуже високий рівень якості обраної функції залежності.

Прогнозовані значення обсягів надходження вагонів у транспортну підсистему на наступні п'ять років складуть:

$$y_{2020} = 30,3 \cdot 6 + 545,1 \approx 727 \text{ ваг./добу};$$

$$y_{2021} = 30,3 \cdot 7 + 545,1 \approx 757 \text{ ваг./добу};$$

$$y_{2022} = 30,3 \cdot 8 + 545,1 \approx 788 \text{ ваг./добу};$$

$$y_{2023} = 30,3 \cdot 9 + 545,1 \approx 818 \text{ ваг./добу};$$

$$y_{2024} = 30,3 \cdot 10 + 545,1 \approx 848 \text{ ваг./добу}.$$

Доцільність впровадження запропонованої технології обробки вагонопотоків у транспортній підсистемі визначається показником економічного ефекту за розрахунковий період і строком окупності інвестиційних вкладень. Економічна ефективність впровадження технології оцінюється шляхом співставлення очікуваного ефекту і сукупних витрат на реалізацію проекту [114, 115].

Одноразові витрати проекту складаються із вартості розробки і впровадження програмного забезпечення для автоматизованого робочого місця маневрового диспетчера сортувальної станції у припортовому вузлі, підготовку його до експлуатації і складають 300 тис. грн.

Застосування запропонованої технології передбачає зміну експлуатаційних витрат у залежності від величини простою вагонів на станціях та обсягів маневрових робіт:

$$E = E_{\text{ПР}} + E_{\text{М}}, \quad (4.2)$$

де  $E_{\text{ПР}}$  – експлуатаційні витрати на простій вагонів на станціях, грн:

$$E_{PP} = \sum Nt_{PP} \cdot e_{PP}, \quad (4.3)$$

де  $\sum Nt_{PP}$  – сумарні вагоно-години простою на станціях підсистеми;

$e_{PP}$  – вартість 1 години простою вагонів, грн/год.

$E_M$  – експлуатаційні витрати на виконання маневрових робіт, грн:

$$E_M = \frac{\sum Nt_M \cdot e_M}{m}, \quad (4.4)$$

де  $\sum Nt_M$  – сумарні вагоно-години маневрової роботи з обробки вагонів у транспортній підсистемі;

$m$  – середній состав вантажного поїзда формування на адресу припортової станції, ваг.;

$e_M$  – вартість роботи 1 години маневрового локомотива, грн/год.

За розрахунковий рік прийнято перший рік життєвого циклу заходу. Для оцінки економічної ефективності використаємо показники приросту сукупного економічного ефекту за життєвий цикл заходу. Приріст економічного ефекту визначається згідно умов застосування запропонованої технології за розрахунковий період.

Сукупний економічний ефект визначається як сума річних економічних ефектів за розрахунковий період з урахуванням фактору часу (дисконтуванням грошових потоків) згідно [116, 117]:

$$E_t = \sum_{t=1}^n E_t \alpha_t = \sum_{t=1}^n (Z_{t1} - Z_{t2}) \alpha_t, \quad (4.5)$$

де  $E_t$  – економічний ефект від проекту за розрахунковий період, грн;

$Z_{t1}, Z_{t2}$  – вартісна оцінка витрат відповідно у попередньому і наступному році, грн;

$\alpha_t$  – коефіцієнт приведення результатів і витрат до розрахункового року.

Визначення економічного ефекту проводиться за умови приведення вартісних оцінок результатів і витрат різних років до єдиного для всіх варіантів реалізації проекту моменту часу – розрахункового року  $t_p$ . Приведення здійснюється множенням їх вартісної оцінки за кожний рік на коефіцієнт приведення  $\alpha_t$ , що відповідає даному року.

Оскільки результати і витрати кожного року приводяться до першого року життєвого циклу проекту, тобто визначаються у теперішній вартості грошей (дисконтуванням), то коефіцієнт приведення  $\alpha_t$  визначається за формулою [118, 119]

$$\alpha_t = \frac{1}{[(1 + E)(1 + I + R)]^{t_k - t_p}}, \quad (4.6)$$

де  $E$  – річна ставка комерційних банків за депозитними внесками;

$I$  – середній річний рівень інфляції;

$R$  – ступінь ризику здійснення проекту;

$t_p$  – порядковий номер розрахункового року;

$t_k$  – порядковий номер року, грошові потоки якого приводяться до розрахункового року.

Таким чином, коефіцієнти приведення результатів і витрат для кожного року складуть

$$\alpha_1 = \frac{1}{((1 + 0,18)(1 + 0,07 + 0,03))^{1-1}} = 1,00;$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{((1 + 0,18)(1 + 0,07 + 0,03))^{2-1}} = 0,770;$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{((1 + 0,18)(1 + 0,07 + 0,03))^{3-1}} = 0,593;$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{((1+0,18)(1+0,07+0,03))^{4-1}} = 0,457;$$

$$\alpha_5 = \frac{1}{((1+0,18)(1+0,07+0,03))^{5-1}} = 0,352.$$

З урахуванням прогновної оцінки обсягів вагонопотоків на адресу припортової станції було розраховано можливий економічний ефект від впровадження запропонованої технології обробки вагонів у підсистемі СС-ВС-РП. Усі розрахунки зведені у таблицю 4.3.

Як видно з таблиці, строк окупності одночасних витрат починається з першого року впровадження технології обробки вагонів.

Економічне обґрунтування запропонованих заходів доводить, що при впровадженні пріоритетної технології обробки вагонопотоків у транспортній підсистемі СС-ВС-РП на основі автоматизації робочого місця маневрового диспетчера сортувальної станції Одеса-Сортувальна Одеського припортового вузла економічна ефективність з наростаючим підсумком за період 2020-2024 рр. становить близько 75 млн. грн (75854,93 грн).

#### 4.4 Висновки до розділу 4

1. В основу інформаційної взаємодії сортувальної станції з припортовими слід покласти електронний документообіг натурального листа та електронної накладної, згідно яких виконується сортування і розподіл вагонопотоків на зазначених станціях. Це дозволить під час сортування вагонів підбирати подачі з вагонів не тільки у порт, а й під окремий причал і навіть судно.

2. Удосконалення АРМ маневрового диспетчера сортувальної станції дозволяє завчасно врахувати величину насичення місцевими вагонами станцій, що приймають участь в обробці вагонопотоків

призначенням у морські порти, розподілити обсяги сортувальної роботи між станціями вузла в умовах існуючого технічного забезпечення, а також раціонально використовувати колійний розвиток сортувальних станцій та маневрові локомотиви для формування передавальних поїздів.

3. Інтеграція розробленої СППР на основі обробки даних про вагони із системи АСК ВП УЗ-Є та даних про судна із системи стандартів UN/EDIFACT до АРМ ДСЦ опорної сортувальної станції забезпечує координацію роботи станцій припортового вузла та морського порту у режимі реального часу з урахуванням інформації як з боку залізниці, так і з боку морського порту, що задовольняє інтересам кожного учасника перевізного процесу.

4. Економічне обґрунтування доцільності запропонованих заходів з удосконалення технології обробки вагонів у транспортній підсистемі СС-ВС-РП доводить, що при впровадженні пріоритетної технології обробки вагонопотоків на основі автоматизації робочого місця маневрового диспетчера сортувальної станції Одеса-Сортувальна Одеського припортового вузла економічна ефективність з наростаючим підсумком за 5 років становить близько 75 млн. грн.



Таблиця 4.3 – Розрахунок економічного ефекту від впровадження удосконаленої технології обробки вагонів у Одеському припортовому вузлі

Показники	Роки розрахункового періоду				
	2020	2021	2022	2023	2024
1. Прогнозована добова кількість вагонів	727	757	788	818	848
Витрати, пов'язані з обробкою вагонопотоків за існуючою технологією					
2. Витрати, пов'язані з простоем вагонів за рік, тис. грн	323448,6	336795,9	350588,1	363935,3	377282,6
3. Поточні витрати на роботу маневрових тепловозів з розформування составів, тис. грн	250,6	260,9	271,6	281,9	292,3
4. Усього витрат поточних та питомих за рік, тис. грн	323699,2	337056,8	350859,7	364217,3	377574,9
Витрати, пов'язані з обробкою вагонопотоків при впровадженні удосконаленої технології					
5. Одноразові витрати, тис. грн	300	-	-	-	-
6. Залишкова вартість, тис. грн	-	-	-	-	24
7. Витрати, пов'язані з простоем вагонів за рік, тис. грн	300807,2	313220,2	326046,9	338459,9	350872,8
8. Поточні витрати на роботу маневрових тепловозів з розформування составів, тис. грн	298,1822	310,4869	323,2017	335,5063	347,8109

Продовження таблиці 4.3

9. Усього витрат поточних та питомих за рік, тис. грн	301105,4	313530,7	326370,1	338795,4	351220,6
10. Усього витрат за рік після впровадження технології, тис. грн	301405,4	313530,7	326370,1	338795,4	351244,6
11. Економічний ефект від впровадження технології, тис. грн	22293,8	23526,14	24489,56	25421,91	26330,25
12. Коефіцієнт приведення	1,000	0,770	0,593	0,457	0,352
13. Економічний ефект з урахуванням коефіцієнту приведення, тис. грн	22293,8	18124,91	14535,56	11624,76	9275,903
14. Економічний ефект наростаючим підсумком, тис. грн	22293,8	40418,71	54954,27	66579,03	75854,93

## ВИСНОВКИ

У дисертації удосконалено технологічні процеси обробки вагонів у припортових вузлах призначенням на вантажні фронти за рахунок розподілу сортувальної роботи з формування груп місцевих вагонів між станціями припортового вузла. Це дозволить зменшити рівень завантаження технічних пристроїв на припортових станціях та скоротити тривалість простою місцевих вагонів на них в очікуванні виконання маневрових операцій з формування груп вагонів на вантажні фронти морських портів та підприємств, що обслуговуються на під'їзних коліях припортових станцій. Отримані результати дають підстави сформулювати наступні висновки:

1. Незважаючи на загальну тенденцію зменшення обсягів вантажних перевезень залізницею, аналіз динаміки обсягу експортних вагонопотоків за період з 2014 по 2018 роки свідчить про зростання їх обсягів на 2-2,5% щорічно. У зв'язку з цим на залізницях різко збільшилися обсяги сортувальної і маневрової роботи зі збирання і розстановки вагонів на численних фронтах. Переробна спроможність припортових станцій значно нижче переробної спроможності самих портів. Виявлено невідповідності в технічному оснащенні більшості припортових станцій характеру і обсягам переробки вагонів. Основними причинами невідповідності є розміри і структура вагонопотоків, застаріла технологія обслуговування вантажних фронтів порту, відсутність спеціалізації сортувальних колій припортових станцій або самих колій, нераціональне використання маневрових локомотивів та інфраструктури припортових станцій,

2. Аналіз наукових досліджень з питань взаємодії сортувальних і припортових станцій, розподілу експортних вагонопотоків у залізничних вузлах свідчить про важливість удосконалення процесу обробки місцевих вагонопотоків на станціях припортових вузлів і дозволяє виявити низку наступних недоліків: значно менша увага приділяється пошуку рішень з раціонального розподілу сортувальної роботи між станціями припортового

вузла та питанням составоутворення з урахуванням повторної переробки вагонів у пунктах перевалки з різних видів транспорту; недостатнім є рівень автоматизації робочих місць оперативних працівників припортових вузлів; недостатньо досліджені питання ефективного використання маневрових засобів; методи розрахунку колійного розвитку сортувальних парків сортувальних станцій не враховують обмежень за переробною спроможністю кінцевих станцій прямування вагонів, зокрема припортових, та наявність на цих станціях колій для розформування составів.

3. На основі системного аналізу проведено формалізацію функціонування транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту». Системний підхід дозволив визначити керований вплив на зазначену підсистему (число маневрових локомотивів у підсистемі формування сортувальної станції), множину некерованих вхідних впливів (загальна інтенсивність надходження вагонів на сортувальну станцію та інтенсивність надходження на неї вагонів призначенням на причали порту), параметри керування (число і величина передач і подач вагонів на адресу порту), внутрішні характеристики підсистеми (рівень завантаження маневрових локомотивів на сортувальній і вантажних станціях, рівень завантаження сортувальних колій, кількість причалів для пріоритетних вагонів, кількість вільних сортувальних колій на сортувальній станції у момент часу  $t$ ), множину вихідних параметрів (витрати дизельного пального та електричної енергії при перевезенні вагонів пріоритетного та загального потоків, середня тривалість простою вагонів з пріоритетом на станціях припортового вузла, середня тривалість простою вагонів за традиційною технологією) і множину параметрів структурної перебудови (число колій у сортувальному парку сортувальної станції для обробки пріоритетного вагонопотоку і число маневрових локомотивів сортувальної станції для обробки загального вагонопотоку). Окрім можливості отримання комплексного рішення щодо раціонального числа маневрових локомотивів у

підсистемі формування сортувальної станції системний підхід дозволяє також у динаміці оцінити ефективність удосконаленої технології.

4. Розроблено комплекс взаємопов'язаних оптимізаційних моделей, що вирішують завдання визначення раціонального числа маневрових локомотивів для виконання на опорній сортувальній станції технологічних операцій з формування груп вагонів призначенням на вантажні фронти, а також числа та величини передач і подач вагонів на адресу порту, враховує поточні умови функціонування станцій припортового вузла на період оперативного планування їх роботи, що підвищує точність результатів моделювання.

5. Для визначення величини вагонопотоку для обробки за пріоритетною технологією розроблено процедуру виділення вагонів із загального вагонопотоку, яка дає можливість враховувати такі параметри транспортної підсистеми «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту», як кількість причалів порту, кількість вантажних фронтів на причалах, переробну спроможність припортової станції, кількість колій сортувального парку на СС, що має визначальне значення при формуванні подач вагонів на СС.

6. З метою реалізації пріоритетної технології обробки вагонів у транспортній підсистемі «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» удосконалено метод розрахунку числа колій у сортувальному парку, запропонований к. т. н. А. М. Сухопяткіним. Удосконалений метод дозволяє врахувати параметри розподілу тривалості накопичення вагонів кожного призначення на состав передавального поїзда та величини составу передавального поїзда на адресу вантажної станції, що сприяє зменшенню непродуктивних простоїв вагонів на станціях припортового вузла.

7. Розроблена СППР з формування составів передавальних поїздів для маневрового диспетчера СС дозволяє визначити поточні раціональні конструктивно-технологічні параметри процесу обробки вагонів у припортовому вузлі призначенням на вантажні фронти. Застосування

вказаної СППР є основою для автоматизації процесу обробки вагонів у припортовому вузлі.

8. Економічне обґрунтування доцільності впровадження запропонованої технології обробки вагонопотоків у транспортній підсистемі «сортувальна станція – вантажні станції – районні парки порту» шляхом співставлення очікуваного ефекту і сукупних витрат на реалізацію проекту в Одеському залізничному вузлі довело, що впровадження пріоритетної технології обробки вагонів дозволить скоротити тривалість простою вагонів на станціях припортового вузла на 13% та отримати протягом п'яти років економічний ефект з наростаючим підсумком близько 75 млн. грн.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Липец Ю.Г., Пуляркин В.А., Шлихтер С.Б. География мирового хозяйства: учеб. пособие. Москва, 1999. 400 с.
2. Публікація документів Державної Служби Статистики України. Держстат України, 1998-2019. URL: <http://ukrstat.org/>. (дата звернення 24.03.2019).
3. 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.
4. Про погодження стратегії АТ «Українська залізниця» на 2019-2023 р.р.: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 12 червня 2019 р. № 591-р / Кабінет Міністрів України. *Урядовий кур'єр*. 15.08.2019 р. № 155. Інд. 21. Код акта 117850/2019.
5. Про затвердження Концепції створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні: Постанова Кабінету Міністрів України від 25 серпня 2004 р. / Кабінет Міністрів України. № 1118-п. *Офіційний вісник України*. 2004. № 34. С. 99. Ст. 2280. Код акта 29903/2004.
6. Про затвердження Стратегії розвитку морських портів України на період до 2038 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 11 липня 2013 р. №548-р. / Кабінет Міністрів України. *Офіційний вісник України*. 2013. № 61. С. 608. Ст. 2194. Код акта 68232/2013.
7. Бройтман Э.З. Железнодорожные станции и узлы: учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. Москва, 2004. 372 с.
8. Ветухов Е.А., Аветикян М.А. Комплексные методы сокращения простоя вагонов. Москва, 1986. 206 с.

9. Акулиничев В.М., Бодюл В.И., Казюлин Г.Е. Определение межоперационных простоев вагонов на сортировочных станциях. *Науч. труды МИИТ*. 1974. Вып. 379. С. 3-73.
10. Персианов В.А., Скалов К.Ю., Усков Н.С. Моделирование транспортных систем. Москва, 1972. 208 с.
11. Фролов А.Н. К вопросу о взаимодействии сортировочных станций. *Техника и экономика путей сообщения*. 1921. Вып. 8. С. 19-24.
12. Бенсон Д., Уайтхед Дж. Транспорт и доставка грузов. Пер. с англ. В.В. Космина. Москва, 1990. 279 с.
13. Левшин И.К., Шапкин И.Н., Инлоков А.И. Прогрессивная технология на железных дорогах. Москва, 1993. 190 с.
14. Потгофф Г. Учение о транспортных потоках (перевод с нем.). Москва, 1975. 344 с.
15. Roso V., Woxenius J., Lumsden K. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland. *Journal of Transport Geography*. Vol. 17. Issue 5. 2009. P. 338-345. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2008.10.008.
16. Burkovskis R, Palšaitis R. Interaction of the Klaipėda sea port and railway transport. *Transport*. 2002. Vol. 17(2). P. 71-75. DOI: 10.1080/16483480.2002.10414015.
17. Bin Yu, Chao Zhang, Lu Kong, Hong-Li Bao, Wen-Si Wang, Shuiping Ke, Guobao Ning. System dynamics modeling for the land transportation system in a port city. *SIMULATION: Transactions of The Society for Modeling and Simulation International*. 2014. Vol. 90, issue 6. P. 706-716. DOI: 10.1177/0037549714533619.
18. Meng Qiang, Wang Xinchang. Utility-Based Estimation of Probabilistic Port Hinterland for Networks of Intermodal Freight Transportation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2010. Vol. 2168. P. 53-62. DOI: 10.3141/2168-07.



19. Hansen I. Automated shunting of rail container wagons in ports and terminal areas. *Transportation Planning and Technology*. 2004. Vol. 27(5). P. 385-401. DOI: 10.1080/0308106042000280501.

20. Woxenius J., Bergqvist R. Comparing maritime containers and semi-trailers in the context of hinterland transport by rail. *Journal of Transport Geography*. 2011. Vol. 19 (4). P. 680-688.

21. Dror Moshe, Pierre Trudeau. Savings by split delivery routing. *Transportation Science*, 1989. Vol. 23, issue 2. P. 141-145.

22. Jong J.C., Suen C.S., Chang S. Support System to Optimize Railway Stopping Patterns. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2012. Vol. 2289. P. 24-33. DOI: 10.3141/2289-04.

23. Mussone L., Calvo R.W. An analytical approach to calculate the capacity of a railway system. *European Journal of Operational Research*, 2013. Vol. 228, issue 1. P. 11-23. DOI: 10.1016/j.ejor.2012.12.027.

24. Peek G.J., Hagen M. Creating Synergy In and Around Stations: Three Strategies for Adding Value. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2002. Vol. 1793. P. 1-6. DOI: 10.3141/1793-01.

25. Акулиничев В.М. Организация вагонопотоков. Москва, 1979. 224 с.

26. Бернгард К.А. Групповые поезда (Вопросы организации вагонопотоков). *Труды ВНИИЖТа*. Вып. 76. Москва, 1953. 168 с.

27. Сотников Е.А., Левин Д.Ю., Кутыркин А.В. и др. Методика расчета организации вагонопотоков. *Железнодорожный транспорт*. 1982. Вып. 4. С. 13-17.

28. Совершенствование организации вагонопотоков на железных дорогах. *Тр. ЦНИИ*. Вып. 561 / под ред. Е.А. Сотникова. Москва, 1982. 238 с.

29. Архангельский Е.В. Одновременное формирование многогруппных поездов на сортировочных станциях. *Железнодорожный транспорт*. 1979. Вып. 7. С.72-75.

30. Журавель Ирина Леонідівна. Підвищення ефективності роботи вантажних станцій за рахунок удосконалення їх колійного розвитку: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20. Дніпропетровськ, 2015. 21 с.

31. Рыбин П.К. Маневровое обслуживание морских портов и его влияние на путевое развитие портовых станций: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.08. Санкт-Петербург, 2003. 192 с.

32. Matsiuk V., Yurchenko O. Mathematical model for assessing the reliability of cargo delivery on the Caspian-Black sea route of the new Silk Road. *Transport Economics and Logistics*. 2018. Vol. 76. P. 107-114. DOI: 10.26881/etil.2018.76.09.

33. Вернигора Р.В., Огороков А.М., Цупров П.С., Павленко О.І. Мультимодальні перевезення як базовий сегмент транзитного потенціалу України. *Транспортные системы и технологии перевозок*, 2017. Вып. 14. С. 20-29.

34. Федотов Н.И. Проектирование и организация работы станций при неравномерном движении поездов: автореферат дисс. ... докт. техн. наук. Днепропетровск, 1967. 33 с.

35. Козаченко Д.М., Березовий М.І., Коробйова Р.Г. Оптимізація розподілу сортувальних колій між призначеннями плану формування. *Проблеми економіки транспорту: VII міжнар. наук. конф.* (Дніпропетровськ, 24-25 квітня 2008 р.) Дніпропетровськ: ДНУЗТ. 2008. С. 33.

36. Широкова В.В., Несветова Е.А. Организация работы сортировочной станции: учебное пособие. Хабаровск, 2006. 98 с.

37. Шабалин Н.Н. Оптимизация процесса переработки вагонов на станциях. М.: Транспорт, 1973. 184 с.

38. Грунтов П.С., Захаров В.А., Ярошевич В.П. Расчет и анализ транспортных потоков: учебн. пособие, ч.1. / под ред. Грунтова П.С. Гомель, 1983. 37 с.

39. Данько М.І. Наукові основи ресурсозберігаючих технологій при організації вантажних залізничних перевезень: автореферат дис. ... докт. техн. наук: 05.22.01. Харків, 2005. 40 с.

40. Антонов А.В. Системный анализ: учеб. для вузов. Москва, 2004. 454 с.

41. Перегузов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. Москва, 1989. 367 с.

42. Дегтярев Ю.И. Системный анализ и исследование операций: учеб. для вузов по спец. АСОИУ Москва, 1996. 335с.

43. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій. Київ, 2000. 687 с.

44. Матвеев Ю.Н. Основы теории систем и системного анализа: учебное пособие Ч. 1., 1-е изд. Тверь, 2007. 100 с.

45. Краснер Н. Я., Пастухов А. И., Щепина И. Н. Алгоритм решения задачи целочисленного линейного программирования. *Системное моделирование социально-экономических процессов*. Воронеж: ВГУ, 2000. С. 126-132.

46. Шевченко В.Н., Золотых Н.Ю. Линейное и целочисленное линейное программирование. Нижний Новгород, 2004. 154 с.

47. Ху Т. Целочисленное программирование и потоки в сетях. Пер. с англ. / под ред. А.А. Фридмана. Москва, 1974. 419 с.

48. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. Москва, 1985. 512 с.

49. Про затвердження та введення в дію Інструктивних вказівок з організації вагонопотоків на залізницях України: Наказ Укрзалізниці від 29 грудня 2004 р. № 1028 ЦЗ / Державна адміністрація залізничного транспорту України. К.: ТОВ «Швидкий рух», 2005. 100 с.

50. Архангельский Е.В. Требуемое количество приемоотправочных путей на станциях. *Вестник ВНИИЖТа*. 1974. Вып. 1. С. 57-61.

51. Бадах В.И. Специализация сортировочных путей на горочных станциях большой мощности: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Ленинград, 1967. 28с.

52. Дерябин Р.В. Производственная деятельность морского порта: учеб. для морских вузов. Москва, 1988. 224 с.

53. Ляхницкий В.Е. Проектирование портов. Ленинград, 1956. 471 с.

54. Федотов Н.И. Путевое развитие сортировочных парков / под общ. ред. А.М. Карпова. *Вопросы проектирования и организации работы железнодорожных станций: Сб. научн. тр. Новосиб. ин-та инж. ж.-д. трансп.* 1967. Вып. 65. С. 3-19.

55. Фролов А.С., Кузьмин П.В., Степанец А.В. Организация, планирование и технология перегрузочных работ в морских портах: учебник для высших учебных заведений ММФ. Москва, 1979. 408 с.

56. Ломакина Н.Н. Определение числа и длины сортировочных путей на станциях. *Вестник ВНИИЖТа*. 1962. №2. С. 49 - 52.

57. Савченко И.Е., Земблинов С.В., Страковский И.И. Железнодорожные станции и узлы: учебник для вузов ж.-д. трансп. / под ред. В.М. Акулиничева, Н.Н. Шабалина. 4-е изд., перераб. и доп. Москва, 1980. 479 с.

58. Грунтов П.С. Расчет путевого развития сортировочных станций: учеб. пособие. Гомель, 1975. 40 с.

59. Козаченко Д.М., Березовий М.І., Коробйова Р.Г. Оптимізація розподілу сортувальних колій між призначеннями плану формування. *Проблеми економіки транспорту: VII міжнар. наук. конф., (Дніпропетровськ, 24-25 квітня 2008 р.)*. Дніпропетровськ. 2008. С. 33.

60. Березовий М.І. Определение эксплуатационных расходов при усовершенствовании специализации сортировочных путей. *Транспортні системи та технології перевезень. Днепропетровский національний*

университет железнодорожного транспорта им. Академика В. Лазаряна. Днепропетровск. 2011. Вип.1. С.5-8.

61. Железнодорожные станции и узлы: учебник / под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. Москва», 2014. 855 с.

62. Зубрицкий В.И., Сахаров С.М., Фионов Н.И. Внутрипортовый транспорт: учеб. пособие для вузов мор. транспорта. Москва, 1965. 166 с.

63. Болотный В.Я. Вопросы развития железнодорожных устройств, обслуживающих морские порты: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Москва. 1971. 28 с.

64. Карейша С.Д. Железнодорожные станции. Москва, 1927. 222 с.

65. Комовкина Н.С. Обоснование размещения в железнодорожных узлах станций, обслуживающих крупные морские порты: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург. 2013. 18 с.

66. Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Сортувальні пристрої залізниць. Норми проектування: ГБН В.2.3-37472062-1:2012 : затв. Міністерством інфраструктури України 17.01.2013 : замість ВСН 207-89/МПС ССРСР : чинні від 01.03.2013. Київ, 2012. 112 с.

67. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. Москва, 1986. 247 с.

68. Boysen N., Fliedner M., Jaehn F., Pesch E. Shunting yard operations: Theoretical aspects and applications. *European Journal of Operational Research*. 2012. Vol. 220, Issue 1. P. 1-14.

69. Москалев П.И. Непрерывность процессов переработки вагонов на станции. Москва, 1976. 131 с.

70. Ivic M., Markovic M., Markovic A. Effects of the application of conventional methods in the process of forming the pick-up trains. *Yugoslav Journal of Operations Research*. 2007. Vol. 17 (2). P. 245-256.

71. Архангельский Е.В., Алаев М.М., Сухопяткин А.Н. Определение мощности путевого развития и времени нахождения вагонов на станциях: учеб. пособие. Москва: РГОТУПС, 1999. 78 с.
72. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. Москва, 1971. 576 с.
73. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. АСТ: Астрель, 2006. 992 с.
74. Murata T. State equations, Controllability and Maximal Matching of Petri Nets. *IEEE Trans. On Autom. Control.* 1977. Vol. 3. P. 412-416.
75. Рыжиков Ю.И. Имитационное моделирование. Теория и технология. СПб, 2004. 384 с.
76. Майника Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах / под ред. Е.К.Масловского. Москва, 1981. 322 с.
77. Бандман О.Л. Поведенческие свойства сетей Петри. *Известия АН СССР. Техническая кибернетика.* 1987. Вып. 5. С. 134-150.
78. Лескин А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Сети Петри в моделировании и управлении. Ленинград, 1989. 133 с.
79. Вирбицкайте И.Б. Сети Петри: модификации и расширения: учебное пособие. Новосибирск, 2005. 126 с.
80. Merlin P., Faber D.J. Recoverability of communication protocols. *IEEE Trans. of Communication.* 1976. Vol. COM-24 (9). P. 1036-1043.
81. Ramchandani C. Analysis of asynchronous concurrent systems by timed Petri nets. *Technical report.* Cambridge, USA, 1974. P. 216-218.
82. Слепцов А.И., Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств / под ред. Б.Н. Малиновского. Киев, 1986. 160 с.
83. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирования систем. / пер. с англ. Москва, 1984. 264 с.
84. Котов В.Е. Сети Петри. Москва, 1984. 160 с.

85. Chretienne P. Execution controles des resaux de Petri synchronyses. *Techn. et sci. Inform.* 1984. Vol. 3. № 1. P. 23-31.
86. Зайцев Д.А., Слепцов А.И. Уравнение состояний и эквивалентные преобразования временных сетей Петри. *Кибернетика и системный анализ.* 1997. Вып. 5. С. 59-76.
87. Зайцев Д.А. Инварианты временных сетей Петри. *Кибернетика и системный анализ.* Вып. 2. 2004. С. 92-106.
88. Toudic J.M. Linear Algebra Algorithms for the Structural Analysis of Petri Nets. *Rev. Tech. Thomson CSF.* 1982. Vol. 14. № 1. P. 137-156.
89. Murata T. State equations, Controllability and Maximal Matching of Petri Nets. *IEEE Trans. On Autom. Control.* 1977. Vol. 3. P. 412-416.
90. Зайцев Д. А. Композиционный анализ сетей Петри. *Кибернетика и системный анализ.* 2006. Вып. 1. С. 143-154.
91. Бандман О.Л. Поведенческие свойства сетей Петри. *Известия АН СССР. Техническая кибернетика.* 1987. Вып. 5. С. 134-150.
92. Литвиненко, А. Е. Метод направленного перебора в системах управления и диагностирования: монография. Киев, 2007. 328 с.
93. Зак Ю.А. Методы направленного перебора в задачах целочисленного линейного программирования с булевыми переменными. *Кибернетика.* 1977. Вып. 4. С. 72–81.
94. Математичні методи та моделі в розрахунках на ЕОМ: навч. посібник / під заг. ред. М.І. Данька. Харків, 2008. 172 с.
95. Алексеев О.Г. Комплексное применение методов дискретной оптимизации. Москва, 1987. 248 с.
96. Крушельницька О.В. Методологія та організація наукових досліджень: навч. посібник. Київ, 2003. 192 с.
97. Сергиенко И.В., Каспшицкая М.Ф. Модели и методы решения на ЭВМ комбинаторных задач оптимизации. Киев, 1981. 288 с.
98. Сергиенко И.В., Лебедева Т.Т., Рошин В.А. Приближенные методы решения дискретных задач оптимизации. Киев, 1980. 276 с.

99. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. Москва, 1982. 288 с.

100. Химмельблау Д.М. Прикладное нелинейное программирование. Перевод с англ. И.М. Быховской, Б.Т. Вавилова / под ред. М.Л. Быховского. Москва, 1975. 535 с.

101. Барабашук В.И., Креденцер Б.П., Мирошниченко В.И. Планирование эксперимента в технике. Київ, 1984. 198 с.

102. Володарский Е.Т., Малиновский Б.Н., Туз Ю.М. Планирование и организация измерительного эксперимента. Киев, 1987. 280 с.

103. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва, 1976. 279 с.

104. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов. 8-е изд., перераб. и доп. Москва, 1999. 576 с.

105. Єремєєв В.С., Рефатова С.Т. Теорія планування експерименту: підручник для студ. пед. вузів III-IV рівнів акредитації. Мелітополь: Меліт. держ. пед. ун-т ім. Б. Хмельницького, 2011. (Бібліотека МГПУ) – 1 електрон. опт. диск (CDROM); 12 см. Систем. вимоги: Pentium II; зв. Плата, динаміки або навушники, Internet-браузер Mozilla Firefox або Opera. Заголовок з екрану.

106. Wilcoxon F. Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics*, 1945. Vol. 1. P. 80-83.

107. Wild Ch. The Wilcoxon Rank-Sum Test. *Chance encounters: A First Course in Data Analysis and Inference*. New York. 1999. P. 1-10.

108. Слепцов А.И., Юрасов А.А. Автоматизация проектирования управляющих систем гибких автоматизированных производств / под ред. Б.Н. Малиновского. Киев, 1986. 160 с.

109. Науменко П.П., Миненко В.Д., Землянов В.Б. АСК ВП УЗ как основа для интеграции автоматизированных систем управления грузовыми перевозками железнодорожного транспорта Украины. *Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета*



*железнодорожного транспорта.* 2007. №17. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ask-vp-uz-kak-osnova-dlya-integratsii-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya-gruzovymi-perevozkami-zheleznodorozhnogo-transporta>. (дата звернення: 10.07.2018).

110. Кириченко Г.І., Стрелко О.Г., Бердниченко Ю.А., Макарова О.О. Організація роботи сортувальної станції в умовах автоматизації. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Транспортні системи і технології.* 2013. Вип. 23. С. 150-154.

111. Electronic data interchange for administration, commerce and transport (EDIFACT). Application level syntax rules <https://www.iso.org/standard/17592.html>. ISO 9735:1988.

112. Угода про міжнародне залізничне вантажне сполучення : Угода, Список, Правила від 1 листопада 1951 р. / Узбекистан, Албанія, Естонія. *Офіційний вісник України.* 2010. № 22. 2011. № 98 Ст. 3598. С. 55. Ст. 919. Код акта 50241/2010.

113. 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.

114. Економіка України: стратегія і політика довгострокового розвитку / за ред. В.М. Гейця. Київ, 2003. 1008 с.

115. Гальчинський А.С. та ін. Основи економічних знань: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ, 2002. 544 с.

116. Мочерний С.В., Устенко О.А. Основи економічної теорії: навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів Київ, 2005. 504 с.

117. Ілляшенко С. Управління інноваційним розвитком: проблеми, концепції, методи. Суми, Київ, 2005. 324 с.

118. Гойко А. Методи оцінки ефективності інвестицій та пріоритетні напрями їх реалізації: монографія. Київ, 1999. 320 с.

119. Бакаєв Л.О. Кількісні методи в управлінні інвестиціями: навч. посібник. Київ: КНЕУ, 2000. 151 с.

## Додаток А

## Характеристика причин зниження переробної спроможності припортових станцій

Таблиця А.1 – Зведена таблиця причин зниження переробної спроможності припортових станцій

Причини	Фактори впливу	
<i>1</i>	<i>2</i>	
1 Застаріла інфраструктура і недостатнє технічне оснащення	1.1 Невідповідність розміщення основних пристроїв станції характеру сучасних вантажоперевезень	1.1.1 Недостатня довжина витяжних колій
		1.1.2 Відсутність або недостатня кількість сортувальних колій
		1.1.3 Наявність ворожих маршрутів при виконанні маневрових робіт
		1.1.4 Віддаленість деяких причалів порту від станції
	1.2 Низький рівень продуктивності технічних пристроїв	1.2.1 Нестача маневрових локомотивів
		1.2.2 Технічні несправності пристроїв
		1.2.3 Технічна зношеність оснащення
	1.3 Недостатня потужність причалів порту	1.3.1 Нестача вантажно-розвантажувальних механізмів

Продовження таблиці А.1

1	2	
		1.3.2 Недостатня місткість складів
		1.3.3 Невідповідність довжини вантажних фронтів довжині подач
		1.3.4 Заняття колій в очікуваннях при збоях розкладу суден
2 Неадаптована технологія роботи станцій до сучасних вимог транспортного ринку	2.1 Нераціональне використання маневрових локомотивів	2.1.1 Обмеженість кількісного складу маневрових складів
		2.1.2 Неузгоджене подавання/забирання груп вагонів між станцією і портом
		2.1.3 Простої локомотивів в очікуванні виконання операцій
	2.2 Низький рівень організації експлуатаційної роботи	2.2.1 Низька ефективність технологій митного контролю вантажів
		2.2.2 Недостатня кількість працівників через суміщення виконуваних посадових функцій
		2.2.3 Недостатня кваліфікація працівників підрозділів станції
		2.2.4 Застарілість технологій вантажних робіт

Продовження таблиці А.1

1	2	
3 Неузгодженість дій учасників транспортного процесу	3.1 Неузгоджений підвід вагонів та суден	3.1.1 Відсутність скоординованої технології роботи
		3.1.2 Відсутність інформації про надходження суден
		3.1.3 Відсутність логістичних принципів в управлінні вантажопотоками
	3.2 Нерівномірне надходження вагонів на станції	3.2.1 Проведення вантажних робіт без урахування потужностей порту
		3.2.2 Недотримання графіків відвантаження
4 Нераціональне використання рухомого складу	4.1 Обмеження у вантажопідйомності вагонів	4.1.1 Нераціональний вибір типу рухомого складу для перевезення
		4.1.2 Застарілий вагонний парк
	4.2 Позанормований час простою вагонів у порту	4.2.1 Низький відсоток застосування прямого варіанту перевантаження
		4.2.2 Простої вагонів при виконанні митних операцій
		4.2.3 Заборона використання вагонів для навантаження власниками

Продовження таблиці А.1

1	2	
5 Форс-мажорні обставини	5.1 Складні погодні умови	5.1.1 Сильний вітер
		5.1.2 Шторм
		5.1.3 Обледеніння
	5.2 Недоопрацювання нормативно-правових документів	5.2.1 Відсутність багатьох законів, що регламентують змішані перевезення
		5.2.2 Недосконалість нормативно-правових положень у сфері регулювання відносин між перевізниками, власниками вагонів та споживачами

Додаток Б  
Аналіз статистичного матеріалу

Таблиця Б.1 – Аналіз кількості вагонів у складі передавальних поїздів на адресу припортової станції, сформованих на сортувальній станції

Розряди	$x_{сер\ i}$	Абсолютна частота	Частість, $p_i$	$x_{сер\ i} \cdot p_i$	$x_{сер}^2 \cdot p_i$	$y_i$	$\frac{(y_i - p_i)^2}{y_i}$
14-20	17	23	0,05974	1,01558	17,2649	16,890	2,2095
20-26	23	46	0,11948	2,74805	63,2051	42,569	0,2764
26-32	29	77	0,2000	5,8000	168,200	74,886	0,0596
32-38	35	101	0,26233	9,18181	321,363	91,977	0,8850
38-45	41,5	78	0,20259	8,40779	348,923	89,085	1,3795
45-51	48	40	0,10389	4,98701	239,376	41,871	0,0836
51-57	54	18	0,04675	2,52467	136,332	16,482	0,1396
57-63	60	7	0,01818	1,09090	65,4545	4,527	1,3504
Сума		390	1,00000	35,75584	1360,121		6,384023

Середнє  $\mu_c=35,755$ ;

Стандартне відхилення  $\sigma_c=9,035$ ;

Табличне значення критерію Пірсона  $\chi_{таб}^2=11,0705$ ;

Розрахований критерій Романовського  $0,438 < 3$ .

Таблиця Б.2 – Аналіз тривалості накопичення вагонів на коліях сортувального парку сортувальної станції

Розряди	$x_{сер i}$	Абсолютна частота	Частість, $p_i$	$x_{сер i} \cdot p_i$	$x_{сер}^2 \cdot p_i$	$y_i$	$\frac{(y_i - p_i)^2}{y_i}$
0,23-1,37	0,8	92	0,236504	0,189203	0,151362	79,43775	1,986588077
1,37-2,53	1,95	104	0,267352	0,521337	1,016607	114,982	1,048902819
2,53-3,68	3,105	79	0,203085	0,630578	1,957946	85,76687	0,533894626
3,68-4,82	4,25	55	0,141388	0,6009	2,553824	51,51771	0,235381948
4,82-5,97	5,395	29	0,07455	0,402198	2,169858	28,20107	0,022633544
5,97-7,12	6,545	18	0,046272	0,302853	1,982176	14,26212	0,979642863
7,12-8,27	7,695	9	0,023136	0,178033	1,369967	6,891788	0,644906383
8,27-9,42	8,845	3	0,007712	0,068213	0,603347	3,223207	0,015457104
9,42-10,57	9,995	1	0,002571	0,025694	0,256812	1,470824	0,150715171
Сума		390	1,000000	2,91901	12,0619	385,7533616	5,618122537

Середнє  $\mu_{нак}=2,919$ ;

Стандартне відхилення  $\sigma_{нак}=1,88$ ;

Параметр форми  $\alpha=2,406$ , параметр масштабу  $\beta=1,213$ ;

Табличне значення критерію Пірсона  $\chi_{таб}^2=11,0705$ ;

Розрахований критерій Романовського  $0,195 < 3$ .



## Додаток В

## Програмний інтерфейс процесу функціонування станцій припортового вузла

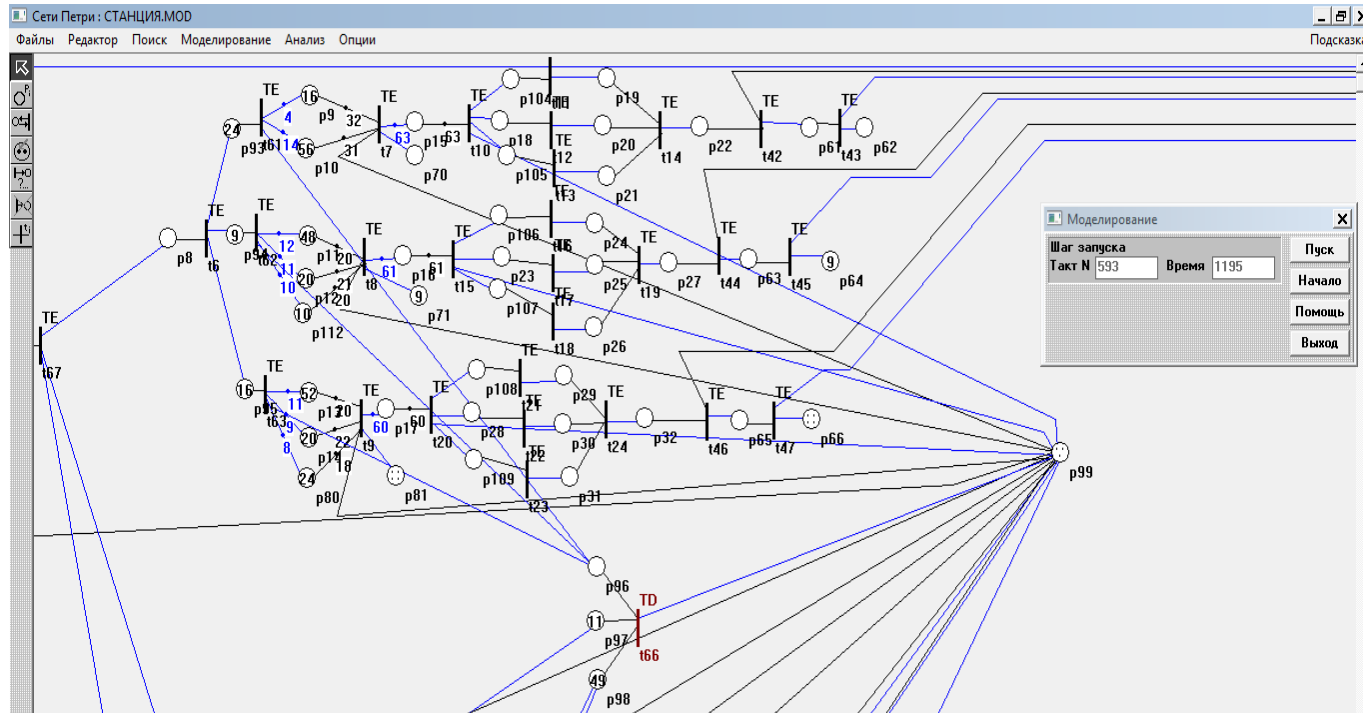


Рисунок В.1 – Фрагмент імітаційної моделі роботи сортувальної станції припортового вузла у мережах Петрі (перший пучок сортувального парку).

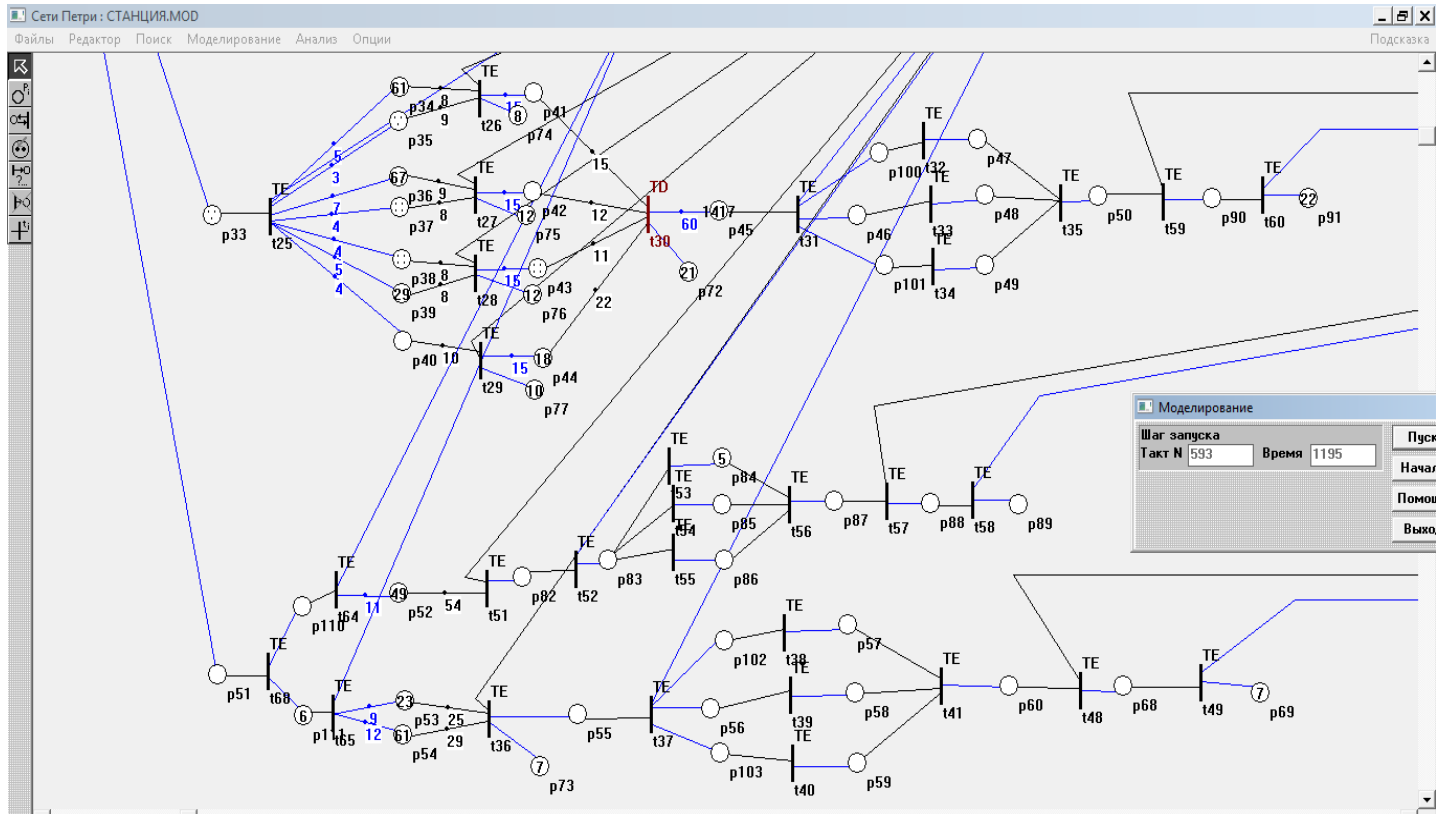


Рисунок В.2 – Фрагмент імітаційної моделі роботи сортувальної станції припортового вузла у мережах Петрі (другий і третій пучок сортувального парку).

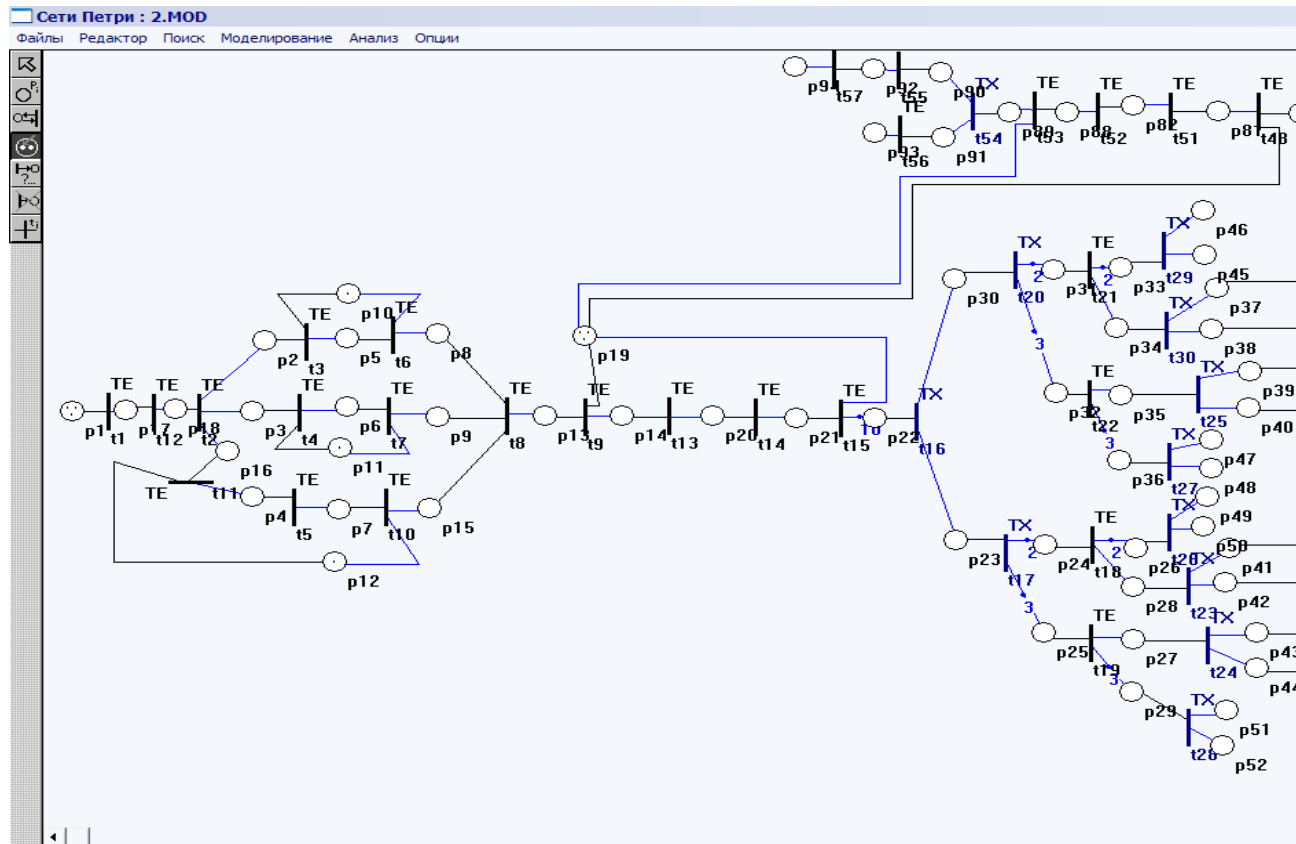


Рисунок В.3 – Фрагмент імітаційної моделі роботи вантажної станції припортового вузла у мережах Петрі (розформування составів)

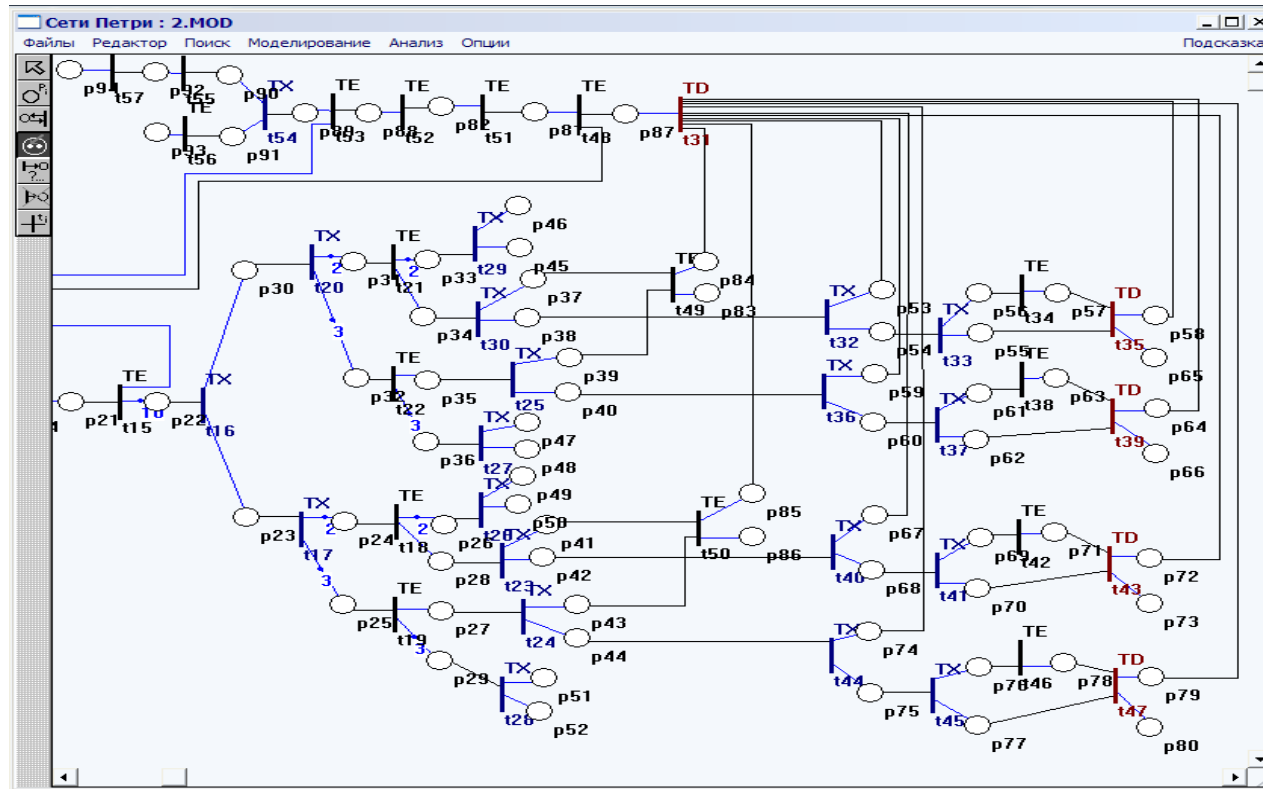


Рисунок В.4 – Фрагмент імітаційної моделі роботи вантажної станції припортового вузла у мережах Петрі (формування составів)

## Додаток Г

Дослідження адекватності оптимізаційної моделі на основі мінімізації експлуатаційних витрат на обробку вагонів у транспортній підсистемі

Таблиця Г.1 – Розрахунок параметрів ранжування

№	$y_i$	$y_{pi}$	$\delta_i$	$ \delta_i $	$R_i$	№	$y_i$	$y_{pi}$	$\delta_i$	$ \delta_i $	$R_i$
1	20,32	19,08	1,24	1,24	1	26	30,37	27,58	2,79	2,79	18
2	21,87	20,59	1,28	1,28	2	27	21,13	18,33	2,80	2,80	19
3	26,71	25,33	1,38	1,38	3	28	26,11	23,31	2,80	2,80	19
4	19,87	18,49	1,38	1,38	4	29	19,03	22,27	-3,24	3,24	20
5	24,64	23,26	1,38	1,38	4	30	21,85	25,09	-3,24	3,24	20
6	33,3	34,76	-1,46	1,46	5	31	19,64	16,15	3,49	3,49	21
7	28,07	26,58	1,49	1,49	6	32	28,25	24,55	3,70	3,70	22
8	34,97	33,45	1,52	1,52	7	33	21,41	17,61	3,80	3,80	23
9	28,55	27,03	1,52	1,52	7	34	20,64	16,84	3,80	3,80	23
10	18,98	20,66	-1,68	1,68	8	35	34,37	30,53	3,84	3,84	24
11	26,79	25,08	1,71	1,71	9	36	25,6	21,28	4,32	4,32	25
12	20,85	22,56	-1,71	1,71	9	37	35,05	30,58	4,47	4,47	26
13	31,68	29,92	1,76	1,76	10	38	24,71	20,04	4,67	4,67	27
14	34,95	33,19	1,76	1,76	10	39	24,91	20,22	4,69	4,69	28
15	15,96	14,17	1,79	1,79	11	40	35,28	30,51	4,77	4,77	29
16	28,29	26,50	1,79	1,79	11	41	29,35	24,56	4,79	4,79	30
17	31,54	29,75	1,79	1,79	11	42	25,81	20,6	5,21	5,21	31
18	25,35	23,50	1,85	1,85	12	43	34,43	28,66	5,77	5,77	32
19	21,97	24,06	-2,09	2,09	13	44	28,2	22,43	5,77	5,77	32
20	19,39	21,48	-2,09	2,09	13	45	29,16	23,36	5,80	5,80	33
21	21,21	18,73	2,48	2,48	14	46	36,21	30,41	5,80	5,80	33

Продовження таблиці Г.1

<i>N</i>	$y_i$	$y_{pi}$	$\delta_i$	$ \delta_i $	$R_i$	<i>N</i>	$y_i$	$y_{pi}$	$\delta_i$	$ \delta_i $	$R_i$
22	30,26	27,58	2,68	2,68	15	47	31,94	26,02	5,92	5,92	34
23	20,68	17,97	2,71	2,71	16	48	27,94	21,29	6,65	6,65	35
24	33,68	30,93	2,75	2,75	17	49	38,77	31,96	6,81	6,81	36
25	19,75	16,96	2,79	2,79	18	50	23,49	16,68	6,81	6,81	36

## Додаток Д

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. Шелехань Г.І. Застосування принципів системного аналізу для раціоналізації функціонування припортових вантажних станцій з обслуговуванням контейнерних вантажопотоків. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 137. С. 130-134.

2. Шелехань Г.І. Удосконалення підходу до розрахунку раціональних параметрів процесу обробки вагонопотоків у системі «сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту». *Збірник наукових праць Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Транспортні системи та технології перевезень*. 2015. Вип. 9. С. 72-78.

3. Шаповал Г.В., Шелехань Г.І, Занік І.В. Дослідження впливу поїздоутворення на ефективність сортувального процесу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Вип. 166. 2016. С. 68-78.

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

4. Шелехань Г.І., Продащук М.В. Удосконалення процесу взаємодії сортувальної та припортової станцій при обслуговуванні експортних вагонопотоків. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Вип. 168. 2017. С. 10-18. (видання індексується у базі *Index Copernicus*).

5. Butko T., Prodashchuk S., Bogomazova G., Shelekhan G., Prodashchuk M., Purii R. Improvement of technology for management of freight

rolling stock on railway transport. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Vol. 87. № 3. 2017. P. 4-11. doi: 10.15587/1729-4061.2017.99185. (видання індексується у базі Scopus).

*Публікації у виданнях інших держав:*

6. Panchenko S., Ohar O., Shelekhan G., Skrebutene E. Optimization of transport system operation using ranking method. *Procedia Computer Science*. Vol. 149, 2019. P. 110-117. doi: 10.1016/j.procs.2019.01.114. (видання індексується у базі Scopus).

***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:***

7. Шаповал Г.В., Шелехань Г.І. Удосконалення контейнерних вагонопотоків у складі мультимодальних перевезень територією України. *«Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики»*: тези доповідей Десятої наук.-практ. міжнар. конф. Вісник економіки транспорту і промисловості. Збірник наукових праць УкрДАЗТ (Харків, 5-7 червня 2014). Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 46. С. 36.

8. Шелехань Г.І. Підвищення ефективності функціонування морських портів та припортових станцій. *Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів*: тези наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.) Дніпропетровськ: ДНУЗТ. 2014. С. 87-88.

9. Шелехань Г.І. Удосконалення технології обробки вагонопотоків у системі «Сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту». *Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті*: матеріали X ювілейної міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 30 червня – 01 липня 2015). Київ: ДЕГУТ, 2015. С. 167-168.

10. Шелехань Г.І. Дослідження ефективності застосування удосконаленої технології обробки вагонопотоків у системі «сортувальна станція – вантажна станція – районні парки порту». *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. 119-120.

11.Шелехань Г.І. Удосконалення технології роботи системи «Сортувальна станція – припортова станція – районні парки порту» при обслуговуванні експортних вагонопотоків. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 79-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. (Харків, 25–27 квітня 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. Вип. 169 (додаток). С. 223-225.

12.Шелехань Г.І. Розроблення моделі функціонування транспортної системи у нечітких умовах. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті*: тези доповідей 80-ї Міжнар. наук.-техн. конф. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. (Харків, 24–26 квітня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. Вип. 177. С. 166-167.

13.Шелехань Г.І. Підвищення ефективності використання колійного розвитку сортувальних парків на сортувальних станціях припортових вузлів. *«Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці»*. Збірник наукових праць VI наук. конф. (Харків, 18 жовтня 2018 р.). Харків: Державний вищий заклад «Університет менеджменту освіти». ПП «Технологічний центр», 2018. С. 70.

14.Шаповал Г.В., Шелехань Г.І., Собина А.В. Удосконалення технології просування вагонопотоків у припортовому вузлі. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*: тези стендових доповідей та виступів учасників 31-ї міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 24-26 жовтня 2018 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2018. № 4 (додаток). С. 38-39.

15.Огар О.М., Берестов І.В., Шелехань Г.І., Осадча Ю.В. Формалізація функціонування транспортної системи з обробки вагонів призначенням на вантажні фронти морських портів та підприємств. *«Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*: тези 79-ї

Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2019. С.184-186.

### *Відомості про апробацію результатів дисертації*

1. Десята науково-практична міжнародна конференція «Проблеми міжнародних транспортних коридорів та корпоративної логістики» (Харків, 5-7 червня 2014 р.) (очна участь).

2. Науково-практична конференція «Розвиток теорії та практики функціонування залізничних станцій та вузлів» (Дніпропетровськ, 11-12 грудня 2014 р.) (заочна участь).

3. Х ювілейна міжнародна науково-практична конференція «Проблеми економіки та управління на залізничному транспорті» (Київ, 30 червня – 01 липня 2015) (заочна участь).

4. 78-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 26–28 квітня 2016 р.) (очна участь).

5. 79-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 25–27 квітня 2017 р.) (очна участь).

6. 80-а Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті» (Харків, 24–26 квітня 2018 р.) (очна участь).

7. VI наукова конференція «Фундаментальні та прикладні дослідження у сучасній науці» (Харків, 18 жовтня 2018 р.) (заочна участь).

8. 31-а міжнародна науково-практична конференція «Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті» (Харків, 24-26 жовтня 2018 р.) (очна участь).

9. 79-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, 16-17 травня 2019 р.) (заочна участь).

## Додаток Е

## Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

## АКТ

про впровадження розробок Українського державного університету залізничного транспорту (автори: д.т.н., проф. О.М. Огар, асистент Г.І. Шелехань) щодо підвищення ефективності процесу обробки вагонопотоків у транспортних системах за рахунок впровадження удосконаленої технології роботи транспортних систем

Складено комісією у складі:

**Голова:** Начальник структурного підрозділу «Служба перевезень Регіональної філії «Одеська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» С.О. Міщенко

**Члени комісії:** Заступник начальника структурного підрозділу «Служба перевезень Регіональної філії «Одеська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» А.З. Кара

Начальник оперативно-розпорядчого відділу структурного підрозділу «Служба перевезень Регіональної філії «Одеська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» Д.В. Захоженко

**Комісія постановила:**

- надані розробки щодо підвищення ефективності процесу обробки вагонопотоків призначенням у морські порти України за рахунок впровадження у транспортні системи, які складаються з опорної сортувальної станції, припортової вантажної станції та морського порту,

- удосконаленої технології роботи транспортних систем можуть бути рекомендовані до впровадження на сортувальних та вантажних станціях;
- модель, що пропонується для раціоналізації технології функціонування транспортної системи з обробки вагонопотоків, дозволяє мінімізувати простої вагонопотоків на вантажних станціях;
  - розроблена процедура раціоналізації процесу функціонування вантажних перевезень у транспортних системах Південної залізниці дозволяє скоротити технологічну тривалість обробки вагонів більше ніж на 25 %.

Комісія вважає надані розробки актуальними та такими, які слід рекомендувати до впровадження на сортувальних та вантажних станціях регіональної філії «Одеська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця».



**Голова комісії:**

Начальник служби

*С.О. Міщенко*  
Вересня 2018 р.

С.О. Міщенко

**Члени комісії:**

Заступник начальника служби

А.З. Кара

Начальник оперативно-  
розпорядчого відділу

Д.В. Захоженко

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Перший проректор

Українського державного

університету залізничного транспорту

В.М. Астахов

2018 р.

**АКТ**

про впровадження результатів дисертаційної роботи Шелехань Ганни Ігорівни з удосконалення технологічних процесів у транспортних системах, що обслуговують морські порти, у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту

До основних результатів дисертації Шелехань Г.І., які використовуються у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту, належать:

- удосконалена технологія взаємодії сортувальної та вантажної станції, що обслуговує морські порти, на основі пріоритетності обробки вагонів, що дозволяє скоротити тривалість знаходження вагонів на станціях за рахунок перерозподілу сортувальної роботи між цими станціями;
- модель функціонування транспортної системи, яка дозволяє визначити раціональні обсяги пріоритетної обробки вагонопотоків призначенням у морські порти з урахуванням потужностей технічних пристроїв з їх обслуговування на залізничних станціях, а також порядок розподілу цих вагонопотоків по причалам і вантажним фронтам портів.

Розробки та рекомендації, запропоновані автором, впроваджені у навчальний процес з 2018 року по теперішній час:

1) при підготовці бакалаврів усіх освітніх програм спеціальності «Транспортні технології (залізничний транспорт)» з дисципліни «Залізничні станції та вузли»;

2) при підготовці магістрів усіх освітніх програм спеціальності «Транспортні технології (залізничний транспорт)» з дисципліни «Проектування об'єктів залізничної інфраструктури»;

3) при виконанні випускних кваліфікаційних робіт магістрів факультету управління процесами перевезень.

Завідувач кафедри  
залізничних станцій та вузлів,  
д.т.н., проф.



О.М. Огар