МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Острогляд Олена Олександрівна

УДК [658.286.2:338.47]:656.029.4

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЧОГО РІВНЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ ЛОГІСТИЧНИХ ПРИНЦИПІВ

Спеціальність 05.22.12 – промисловий транспорт
Галузь знань 27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

О. О. Острогляд

Науковий керівник:
Турпак Сергій Миколайович
доктор технічних наук,
професор

Запоріжжя – 2019

АНОТАЦІЯ

Острогляд О. О. Підвищення ефективності роботи транспортно-складської системи виробничого рівня металургійного підприємства на основі логістичних принципів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.12 - промисловий транспорт. - Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, Дніпро, 2019.

Дисертація присвячена вирішенню наукового завдання підвищення ефективності роботи транспортно-складської системи виробничого рівня металургійних підприємств шляхом удосконалення логістичного управління процесом виконання вантажних операцій з урахуванням впливу зовнішніх факторів.

Проблема розробки й використання нових підходів до організації перевезень та вантажопереробки й управління ними на промислових підприємствах є важливим напрямком підвищення ефективності їх діяльності. В останні роки в металургійній галузі спостерігається оновлення й удосконалення технічних навантажувально-розвантажувальних засобів та методів відновлення сипкості вантажів, інформаційного забезпечення, контролю та обліку вантажопотоків.

Проте в існуючих підходах та методах управління доставкою вантажів урахування зовнішніх факторів та параметрів функціонування транспортно-складських логістичних систем металургійних підприємств здійснюється переважно експертним шляхом, не маючи надійного наукового підґрунтя. Відсутність системи управління транспортно-складськими процесами, яка б відповідала сучасному рівню розвитку технічних засобів та враховувала б вищевказані фактори, призводить до збільшення витрат на плату за користування вагонами, використання локомотивів, розігрівання вантажів тощо. У зв’язку з цим розробка методів, які забезпечують ефективну роботу транспортно-складської системи з урахуванням взаємозв’язків системи

планування вантажної роботи та сучасних технологій вантажопереробки є актуальною темою дослідження.

Проведено аналіз сучасного стану проблеми ефективності функціонування транспортно-складських логістичних систем металургійних підприємств, визначені мета і завдання дослідження. В ході аналізу встановлено, що потребують розвитку саме технології організації доставки вантажів, які б забезпечили найбільш ефективне застосування новітніх напрацювань у технічній сфері та логістиці. Ці напрацювання необхідно пов’язати із сучасними методами організації перевезень та управління ними, зокрема, з оптимізацією оперативного управління.

Розглянуто транспортно-складську логістичну систему виробничого рівня з позицій системного аналізу, виділені основні її підсистеми – ТСЛС вивантаження та ТСЛС відвантаження, що тісно пов’язані між собою. Запропонована удосконалена схема режимів роботи ТСЛС МП в умовах різних температур. За новою схемою режим роботи ТСЛС МП вивантаження залежить від раціонального запасу сировини. Згідно визначеного запасу будуть плануватися постачання вантажів на підприємство, робота пристроїв розморожування та локомотивів, розподіл вантажу по фронтам вивантаження.

Для удосконалення системи управління розвантаження сировини розроблено метод оперативного коригування плану розподілу вантажів, що надходять на металургійне підприємство, який дозволяє скоротити простій вагонів шляхом урахування змін зовнішніх факторів – погодних умов. При застосуванні даного методу пропонується в холодний період року розподіл кожної подачі вагонів виконувати з урахуванням можливостей вантажного фронту на момент надходження визначеної подачі. Це дозволить уникнути додаткових простоїв вагонів та більш ефективно організувати роботу вантажних фронтів.

Формалізовано задачу розподілу вагонів для залізничних цехів підприємств та управлінь залізничного транспорту як динамічну транспортну задачу, що дозволяє враховувати переробну спроможність вантажних фронтів

на момент надходження кожної подачі вагонів. Запропонований підхід передбачає розв’язок транспортної задачі блоками для кожного пакету подач та враховує можливості вантажних фронтів на момент надходження кожної подачі.

Розроблено імітаційну модель функціонування підсистеми вивантаження сировини та палива, яка, на відміну від існуючих, враховує особливості транспортно-складського процесу в холодний період року та дозволяє визначити раціональну кількість транспортних і допоміжних ресурсів з урахуванням впливу зовнішніх факторів. На основі проведення експериментів встановлено раціональну кількість камер розігріву та кількість локомотивів в системі, обрано найбільш економічний режим роботи ТСЛС вивантаження.

Досліджено особливості роботи транспортно-складських систем металургійних підприємств в умовах збільшення частки перевезень готової продукції автомобільним транспортом у порівнянні з залізничним. Розроблено імітаційну модель функціонування ТСЛС навантаження, що враховує особливості більшої пристосованості інфраструктури до обслуговування прокатного виробництва саме залізничним транспортом. Запропонована модель дозволяє зменшити простій транспортних засобів шляхом раціонального розподілу автотранспорту між фронтами навантаження.

Удосконалено регресійну модель визначення розрахункового часу знаходження вагонів на підприємстві, яка враховує вплив різних факторів (вид вантажу, фронт вивантаження, погодні умови) на тривалість їх простоїв, що дозволяє планувати транспортний процес та встановлювати тривалість обороту вагонів на маршрутах перевезень. Запропонована модель дозволяє планувати транспортний процес та встановлювати тривалість обороту вагонів на маршрутах перевезень й потрібну кількість вагонів робочого парку.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропонований метод планування розподілу вантажів дозволяє більш ефективно керувати функціонуванням ТСЛС на оперативному рівні в умовах різкої зміни температури повітря. Імітаційна модель управління процесом

розігріву та вивантаження дозволяє визначити найбільш економічний режим роботи ТСЛС МП шляхом визначення раціональної кількості залучених ресурсів. Модель транспортно-складської системи навантаження дозволяє раціонально планувати процеси відвантаження готової продукції завдяки встановленню раціонального співвідношення використання залізничного та автомобільного транспорту на фронтах навантаження.

Дослідження, виконані в дисертаційній роботі, пов'язані з НДР Запорізького національного технічного університету ДБ 02013 «Розробка логістики транспортно-складських процесів в енергоємних та екологічно забруднюючих системах промислових підприємств» (2013-2014 р., номер держ. реєстрації 0113U001095) у якій автор є виконавцем та співавтором звіту.

Основні наукові результати, які отримано в дисертаційному дослідженні знайшли застосування на ПАТ «Запоріжсталь» та ТОВ «Мета-Транс», а також використовуються в науково-дослідній роботі та у навчальному процесі. Національного університету «Запорізька політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальності «Транспортні технології». Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними документами, що наведені в додатках до дисертації.

Підвищення ефективності ТСЛС досягнуто за узагальнюючим економічним критерієм. Результати виконаних досліджень дозволили підвищити ефективність роботи транспортно-складської логістичної системи металургійних підприємств за рахунок зниження витрат на її функціонування шляхом скорочення тривалості простою транспортних засобів в умовах різкої зміни температури повітря та визначення раціональної кількості використовуваних транспортних та допоміжних ресурсів.

Ключові слова: транспортно-складська система, металургійне підприємство, вантажопотік, тривалість обробки подачі, розігрівання вантажів, оптимальний розподіл сировини, вантажний фронт, системний підхід, імітаційне моделювання.

ABSTRACT

Ostrohliad O.O. Enhancing the effectiveness of the function of the part handling-and-storage system of the metallurgical enterprise industrial level based on logistic principles. – Manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences in specialty 05.22.12 - Industrial transport. - V. Lazaryan Dnipro National University of Railway Transport, Dnipro, 2019.

The thesis is dedicated to solving a scientific problem of the enhancement of the effectiveness of the part handling-and-storage system of the metallurgical enterprise industrial level through the perfection of a logistical management of the process associated with execution of cargo operations, taking into consideration the influence of the external factors.

The problem of a developing and applying new approaches to the transportation and cargo handling organization and management at the industrial enterprises is an important direction for increasing their activities efficiency. In recent years there has been an update and improvement of the technical handling facilities and methods of the looseness goods restoration, information support, control and accounting of the freight traffic in the metallurgical industry.

However the consideration of the external factors and parameters of the logistic part handling-and-storage system functioning at the metallurgical enterprises is carried out mainly by expertise but without a reliable scientific basis in the existing approaches and methods of management the cargo delivering. An absence of the part handling-and-storage processes management system that would correspond to the current technical equipments level of development and that would consider the factors above, leads to the cost increasing spending for the carriages and locomotives usage, the cargo reheating, etc. Thereby a development of the methods that ensure the effective function of the part handling-and-storage system taking into consideration the interconnections of the freight operation planning system and modern materials handling processing is a relevant topic of the thesis research.

There was performed the current problem state analysis of the effectiveness of the function of the logistic part handling-and-storage system of the metallurgical enterprise, the goal and targets of the thesis research are determined. The analysis revealed that the technologies of the cargo delivering organization that would ensure the most effective application of the latest practices in the technical sphere and logistics are required development. These practices must be linked to the modern methods of the carrying organizing and managing, in particular to the operations management optimizing.

We have reviewed the logistic part handling-and-storage system of the industrial level from the aspect of a system analysis. As a result, we have highlighted its principal subsystems, such as the logistical unloading part handling-and-storage system and the logistical shipment part handling-and-storage system, which are closely interrelated. We have offered an improved scheme of the operation modes of the logistical part handling-and-storage system of unloading in circumstances of the different temperature modes. According to the new scheme, the logistical part handling-and-storage system of unloading function mode depends on the rational stock of a raw material. It will be planned the cargoes supply to the enterprises, the defrosting devices and locomotive operation, the distribution of the cargoes along the field of unloading according to the determined stock.

To improve the unloading of a raw material management system we have developed a method of a prompt adjustment of the plan of distribution of the cargoes coming into the metallurgical enterprise. The plan allows to reduce a load/unload time by taking into consideration the changes of the external factors namely the weather conditions. In this method, we offer to take into account the possibilities of the cargo field at the moment of arrival of certain supply when performing each division of the carriages in a cold period of year. This allows to avoid the idle standing of the carriages and to organize the function of the cargo fields of operations more effectively.

We formalized the task of the carriages division for the enterprises railway shops and railway administration offices as a dynamic transport task which allows to

take into consideration the estimated capacity of the cargo fields at the moment of arrival of each carriages supply. The offered approach provides the transport problem decision by the units for each supply package and takes into consideration the possibilities of the cargo fields at the moment of arrival of each supply.

We have developed a simulated model of a raw material and fuel subsystem of unloading functioning which includes the features of the part handling-and-storage system in a cold period of year unlike existing ones and allows to identify a rational quantity of transport and auxiliary resources taking into consideration the influence of the external factors. We founded a rational quantity of the heating chamber and a quantity of the locomotives in the system based on the experiments. We chose the most economical mode of the logistical unloading part handling-and-storage system function.

We have researched into the function features of the part handling-and-storage system of the metallurgical enterprises in circumstances of increasing the end product transportation service proportion by the auto transport in comparison with the railway one. We have developed a simulated model of the logistical part handling-and-storage system of unloading which includes the features of a high adaptability the infrastructure to the rolling production maintenance by the railway transport. The offered model allows to reduce the idle standing of the vehicles through the rational distribution an auto transport between the cargo fields.

We improved a regression model of the estimated time designated of the wagons at the enterprise, which includes an influence of different factors (type of the cargo, unloading field, weather conditions) on their idle standing duration. This allows to plan the transport process and to prescribe the duration of wagon turn-around on the transportation itineraries. The offered model allows to plan a transport process and to prescribe the duration of a wagon turn-around on the transportation itineraries and a necessary quantity of the wagons of the operating fleet.

The practical importance of the results obtained is that the method of planning the division of the carriages offered allows to manage the logistical part handling-and-storage system function more effectively at the operational level in

circumstances of an abrupt alteration of the air temperature. A simulated model of the heating and unloading processes control allows to determine the most economical mode of the logistical part handling-and-storage system function through identifying a rational quantity of resources involved. The logistical part handling-and-storage system of loading model allows to plan rationally the unloading processes of the finished product through an identifying the rational usage ratio of the railway and auto transport on the cargo fields.

The research performed in the thesis is linked to Zaporozhzhya National Technical University Research Work SB 02013 «The logistics of the part handling-and-storage system processes development in the power-intensive and environmentally-polluting systems of the industrial enterprises» (2013-2014, State Registration Number 0113U001095) where the author is a report's performer and co-author.

The basic scientific results were obtained in the thesis research have been applied to PJSC «Zaporizhstal» and LLC "Meta-Trans". Also they are used in the research work and in the educational process of National University «Zaporizhzhya Polytechnic» for the bachelors and masters of «Transport technologies» specialty preparation. The practical implementation of the thesis results is confirmed by the corresponding documents, which are given in the annexes to the thesis.

The logistical part handling-and-storage system efficiency improving was achieved according to the general economic criterion. The results of the researches performed allowed to increase the effectiveness of the function of the logistic part handling-and-storage system of the metallurgical enterprises thanks to decreasing the expenditures associated with its function through reduction of the duration of the idle standing of the vehicles in circumstances of an abrupt alteration of the air temperature and estimation of a reasonable quantity of used transport and auxiliary resources.

Key words: part handling-and-storage system, metallurgical enterprise, freight traffic, supply processing duration, cargo reheating, optimum distribution of a raw material, cargo field, a system approach, simulated service test.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

Наукові праці у виданнях, що індексовані в міжнародних наукометричних базах Scopus та Web of Science (WoS):

1. The effect of methods of eliminating spikes in the time series of freight flows on their statistical characteristics / [S. V. Gritsay, O. A. Lashchenykh, S. M. Turpak, O. O. Ostrohlyad, T. V. Kharchenko] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №1/3 (85). – p. 33-39.

2. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations / [O. A. Lashchenykh, S. M. Turpak, S. V. Gritsay, L. O. Vasileva, O. O. Ostrohlyad] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – №5/3 (83). – p. 40-46.

3. Turpak S. M. Improvement of a system controlling a progress of railcars unloading in the context of changes in temperature mode while operating / S. M. Turpak, I. O. Taran, O. O. Ostrohliad // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2018. – №1 – p. 183 – 191.

Наукові праці у фахових виданнях, затверджених МОН України:

4. Турпак С. М. Розробка імітаційних моделей обслуговування прокатного виробництва в умовах збільшення частки автоперевезень / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №3. – С. 202-209.

5. Турпак С. М. Розробка мікрологістичної системи доставки готової продукції металургійних підприємств залізничним транспортом / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 5/3 (71). – С. 10-18.

Додаткові праці:

Наукова стаття в англомовному виданні України:

6. Turpak S. M. Logistics of raw materials supply for the ferroalloy industry / S. M. Turpak, S. V. Gritcay, O. O. Ostrohlyad // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – №10. – p. 16-23.

Праці апробаційного характеру:

7. Турпак С. М. Розробка імітаційних моделей обслуговування прокатного виробництва в умовах збільшення частки автоперевезень / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Програма III Міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті». – Тель-Авів: СНУ ім. В.Даля, 2011. – С. 8.

8. Турпак С. М. Імітаційне моделювання транспортно-складської системи прокатного виробництва при обслуговуванні автомобільним та залізничним транспортом / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Тиждень науки: науково-практична конф., 9-13 квітня 2012р. : тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2012. – Т. 2. – С. 106-108.

9. Турпак С. Н. Совершенствование методов определения плановых показателей работы на железнодорожном транспорте металлургических предприятий / С. Н. Турпак, Е. А. Острогляд // Материалы 41-й Международной научно-технической конференции ОАО «Запорожсталь». – Запорожье, 2014. – С. 115-116.

10. Острогляд О. О. Використання графоаналітичного методу для удосконалення мікрологістичних систем металургійних підприємств / О. О. Острогляд // Тиждень науки: науково-практична конф., 14-18 квітня 2014р.: тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2014. – Т. 1. – С. 38 – 39.

11. Острогляд О. О. Управління роботою транспорту підприємства з виробництва феросплавів / О. О.Острогляд // Тиждень науки: науково-практична конф., 13-17 квітня 2015р.: тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2015. – Т. 1. –

С. 179.

12. Острогляд О. О. Логістика доставки сировини для феросплавного виробництва / Острогляд О. О., Грицай С. В., Каплуновська А. М. // Тиждень науки: науково-практична конф., 18-22 квітня 2016р. : тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2016. – Т. 1. – С. 59.

13. Турпак С. М. Регресійний аналіз процесу розігріву вантажів на металургійному підприємстві / С. М. Турпак, О. О. Острогляд //Тиждень науки: науково-практична конф.: тези доповідей – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2018. – С. 122

14. Острогляд О. О. Підвищення ефективності роботи транспортно-складської логістичної системи металургійного підприємства при змінних зовнішніх факторах. / О. О. Острогляд // «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку»: науково-практична конф.: тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. –2019. – С. 87 – 88.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

15. Система підтримання заданої температури вантажів у залізничних вагонах на металургійних підприємствах: пат. №124788 Україна: МПК (2006.01) B65G 67/24; B65G 60/20 / Турпак С. М., Грицай С. В., Сидоренко Ю. Т., Острогляд О. О.; власник: ЗНТУ. опубл. 25.04.2018, бюл. №8 – 3 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ……. 16

ВСТУП……..…….. 17

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМТВА…… 23

1.1 Особливості транспортування та розвантаження сировини в холодний період року…… 24

1.2 Застосування транспортних задач для оптимізації розподілення вантажів…… 34

1.3 Використання інструменту імітаційного моделювання при плануванні роботи ТСЛС МП…….…….…… 37

1.4 Висновки до розділу 1…… 41

РОЗДІЛ 2. ФОРМАЛІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКИМИ СИСТЕМАМИ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ВІДНОВЛЕННЯ СИПУЧОСТІ ВАНТАЖІВ..... 42

2.1. Принципи системного підходу до управління функціонуванням ТСЛС металургійних підприємств…… 42

2.2.1 Місце транспортно-складських систем в логістичній системі металургійного підприємства…… 42

2.2.2 Аналіз існуючої схеми режимів роботи МП в умовах різних температур…… 48

2.3. Постановка основних задач дослідження та визначення основних етапів моделювання ТСЛС…….…… 50

2.4. Висновки до розділу 2…… 56

РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ З ПЕРЕРОБКИ ВАНТАЖІВ, ЩО НАДХОДЯТЬ НА ПІДПРИЄМСТВО…..……..... 58

3.1. Розробка методу оперативного коригування плану розподілу вантажів, що надходять на металургійне підприємство ……..….. 58

3.1.1 Режим удосконалення процесу розподілу вагонів за пунктами вивантаження……..……..….. 60

3.1.2 Удосконалення процесу розподілу вагонів для залізничних цехів підприємств ……...…… 63

3.1.3 Удосконалення процесу розподілу вагонів для управлінь залізничного транспорту підприємств …… 65

3.4 Практична реалізація процедури удосконалення процесу розподілу вагонів…….……..……..…... 66

3.5. Висновки до розділу 3……. 71

РОЗДІЛ 4. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА...……..……... 73

4.1. Моделювання ТСЛС вивантаження вантажів, що надходять на металургійне підприємство…….. 74

4.1.1 Розробка концептуальної моделі ТСЛС з приймання сировини на металургійному підприємстві…….…..…..…… 75

4.1.2 Визначення вхідних параметрів імітаційної моделі……..... 76

4.1.3 Розробка імітаційної моделі процесу розігріву та вивантаження сировини на металургійному підприємстві в холодний період року……..……..…. 89

4.1.4 Визначення необхідної кількості реалізацій експерименту…… 95

4.1.5 Проведення експериментів в умовах варіювання вхідних параметрів моделі……...…. 97

4.2 Моделювання ТСЛС відвантаження готової продукції металургійного комбінату……. 100

4.3 Удосконалення системи планування операторського обслуговування ТСЛС феросплавного виробництва…… 114

4.3.1 Формування концептуальної моделі ……. 116

4.3.2 Побудова регресійних моделей та оцінка якості регресійних залежностей……. 118

4.4 Висновки до розділу 4…….. 121

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕНИХ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВОСТІ РОБОТИ ТСЛС МП…..…. 123

5.1 Аналіз результатів застосування методу оперативного коригування плану розподілу вантажів в умовах складної транспортної системи металургійного підприємства……..…. 123

5.2 Аналіз результатів моделювання та визначення економічної складової функціонування ТСЛС МП вивантаження……. 126

5.3 Економічна доцільність заходів щодо вдосконалення ТСЛС відвантаження готової продукції……. 130

5.4 Висновки до розділу 5……..…….. 134

ВИСНОВКИ……..…… 135

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...……... 137

ДОДАТОК А. Інтервали надходження вантажів на комбінат ……...…. 150

ДОДАТОК Б. Температура повітря у м. Запоріжжя за січень 2015 року…... 153

ДОДАТОК В. Обробка статистичних даних з надходження вантажів до феросплавного виробництва за період листопад 2013р. – червень 2014 р.… 154

ДОДАТОК Г. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи…… 158

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЛС – логістична система;

ТСЛС – транспортно-складська логістична система;

МП – металургійне підприємство;

ГП – готова продукція;

ВРУ – вібророзпушувальна установка;

ТЗ – транспортна задача;

КД - контейнерна дільниця;

СШ 1 закр. - закритий склад шихти цеху №1;

СШ 1 відкр. - відкритий склад шихти цеху №1;

ШВ 2 – шихтове відділення цеху №2;

ШВ 3 – шихтове відділення цеху №3;

ШВ 4 – шихтове відділення цеху №4;

ОД – основна ділянка відвантаження;

ВД – віддалена ділянка відвантаження.

ВСТУП

Актуальність теми. Проблема розробки й використання нових підходів до організації перевезень та вантажопереробки й управління ними на промислових підприємствах є важливим напрямком підвищення ефективності їх діяльності.

Підвищення вартості сировини призвело до необхідності зменшення в декілька разів складських запасів на металургійних підприємствах та спонукало відмовитись від стратегії створення значних запасів для роботи транспортно-складської системи в зимовий період, який ускладнюється через змерзання вантажів. Це зумовило застосування логістичного підходу до управління процесами доставки. Підвищення цін на енергоносії потребувало нових досліджень у напрямку зниження витрат на розігрів вантажів, що змерзаються.

В останні роки в металургійній галузі спостерігається оновлення й удосконалення технічних навантажувально-розвантажувальних засобів та методів відновлення сипкості вантажів, інформаційного забезпечення, контролю та обліку вантажопотоків. Проте в існуючих підходах та методах управління доставкою вантажів урахування зовнішніх факторів (погодних умов; стохастичного характеру коливань обсягів перевезень) та параметрів функціонування транспортно-складських логістичних систем металургійних підприємств (ТСЛС МП) здійснюється переважно експертним шляхом, не маючи надійного наукового підґрунтя. Відсутність системи управління транспортно-складськими процесами, яка б відповідала сучасному рівню розвитку технічних засобів та враховувала б вищевказані фактори, призводить до збільшення витрат на плату за користування вагонами, використання локомотивів, розігрівання вантажів тощо.

У зв’язку з цим розробка методів, які забезпечують ефективну роботу ТСЛС МП з урахуванням взаємозв’язків системи планування вантажної роботи та сучасних технологій вантажопереробки є актуальною темою дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, виконані в дисертаційній роботі, пов’язані з НДР Запорізького національного технічного університету ДБ 02013 «Розробка логістики транспортно-складських процесів в енергоємних та екологічно забруднюючих системах промислових підприємств» (2013-2014 р., номер держ. реєстрації 0113U001095) у якій автор є виконавцем та співавтором звіту.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування транспортно-складської системи металургійного підприємства шляхом розробки методів, які поєднують систему планування вантажної роботи та сучасні технології вантажопереробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати проблему організації роботи транспортно-складської системи виробничого рівня металургійних підприємств.

2. Формалізувати структуру транспортно-складської логістичної системи металургійних підприємств на основі системного підходу.

3. Удосконалити систему управління процесом розвантаження сировини за рахунок раціонального розподілу вагонів по пунктах вивантаження.

4. Розробити імітаційні моделі транспортно-складських підсистем металургійних підприємств для встановлення раціональних параметрів їх функціонування.

5. Удосконалити систему планування потрібної кількості власних вагонів для забезпечення процесу доставки вантажів в умовах змінних зовнішніх факторів шляхом уточнення розрахункового часу знаходження вагонів на під’їзній колії.

6. Визначити економічну доцільність від впровадження запропонованих заходів щодо підвищення ефективності функціонування ТСЛС МП.

Об'єкт дослідження – транспортно-складські процеси логістичних систем металургійних підприємств.

Предмет дослідження – залежності показників ефективності функціонування транспортно-складських систем металургійних підприємств

від організації процесів доставки та вантажопереробки з урахуванням фактору змерзання вантажів.

Методи дослідження. Для формалізації досліджуваних транспортно-складських логістичних систем застосований метод системного аналізу. Удосконалення системи розподілу вантажів на фронти вивантаження виконане за допомогою застосування динамічної транспортної задачі. Для побудови моделі функціонування ТСЛС вивантаження сировини на підприємстві та ТСЛС відвантаження готової продукції був використаний метод імітаційного моделювання, для встановлення законів розподілу вхідних параметрів моделі використано статистичний аналіз. Удосконалення системи планування потрібної кількості вагонів виконано за допомогою регресійного аналізу, у ході якого було отримано регресійні залежності тривалості розігріву різних видів вантажу на невеликих підприємствах.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше розроблено метод оперативного коригування плану розподілу вантажів, що надходять на металургійне підприємство, який дозволяє скоротити простій вагонів шляхом урахування змін зовнішніх факторів – погодних умов.

Вперше формалізовано задачу розподілу вагонів для залізничних цехів підприємств та управлінь залізничного транспорту як динамічну транспортну задачу, що дозволяє враховувати переробну спроможність вантажних фронтів на момент надходження кожної подачі вагонів.

Отримала подальший розвиток імітаційна модель функціонування підсистеми вивантаження сировини та палива, яка, на відміну від існуючих, враховує особливості транспортно-складського процесу в холодний період року та дозволяє визначити раціональну кількість транспортних і допоміжних ресурсів з урахуванням впливу зовнішніх факторів.

Отримала подальший розвиток імітаційна модель функціонування ТСЛС, яка враховує особливості відвантаження готової продукції при використанні двох видів транспорту – автомобільного та залізничного, та дозволяє зменшити простій транспортних засобів шляхом раціонального розподілу автотранспорту

між фронтами навантаження.

Удосконалено регресійну модель визначення розрахункового часу знаходження вагонів на підприємстві, яка враховує вплив різних факторів (вид вантажу, фронт вивантаження, погодні умови) на тривалість їх простоїв, що дозволяє планувати транспортний процес та встановлювати тривалість обороту вагонів на маршрутах перевезень.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати дозволяють підвищити ефективність роботи ТСЛС виробничого рівня металургійних підприємств за рахунок розробки методів, базованих на логістичному підході до управління транспортно-складськими процесами.

Запропонована методика планування розподілу вантажів дозволяє більш ефективно керувати функціонуванням ТСЛС на оперативному рівні в умовах різкої зміни температури повітря.

Імітаційна модель управління процесом розігріву та вивантаження дозволяє визначити найбільш економічний режим роботи ТСЛС МП шляхом визначення раціональної кількості залучених ресурсів.

Модель транспортно-складської системи навантаження дозволяє раціонально планувати процеси відвантаження готової продукції завдяки встановленню раціонального співвідношення використання залізничного та автомобільного транспорту на фронтах навантаження.

Основні наукові результати, які отримано в дисертаційному дослідженні знайшли застосування на ПАТ «Запоріжсталь» та ТОВ «Мета-Транс», а також використовуються в науково-дослідній роботі та у навчальному процесі. Національного університету «Запорізька політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів спеціальностей 275 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» та 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», що підтверджується актами про впровадження результатів дисертації.

Особистий внесок здобувача. Усі положення і результати, що виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно або за його безпосередньою

участю. В опублікованих спільних роботах, особистий внесок автора полягає у тому, що: [1] – досліджено вплив різних способів виявлення аномальних значень на статистичні характеристики і властивості динамічного ряду; [2] – виконана постановка задачі планування тривалості виконання маневрової роботи та її формалізований опис; [3] - запропоновано процедуру розв'язання динамічної транспортної задачі зі змінним фактором інтенсивності вхідних вантажопотоків за часом; [4] – розроблено імітаційну модель функціонування транспортно-складської системи відвантаження продукції в умовах збільшення частки автоперевезень; [5] – виконано дослідження транспортно-складських процесів мікрологістичної системи доставки продукції металургійного підприємства промисловим залізничним транспортом; [6] – побудовано регресійну модель визначення тривалості простою вагонів.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на таких науково-технічних конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (м.Тель-Авів, 2011 р.); 41-й Міжнародній науково-технічній конференції ПАТ «Запоріжсталь» (м. Запоріжжя, 2014 р.); науково-практичних конференціях «Тиждень науки» (м. Запоріжжя, 2012 р., 2014 р., 2015 р., 2016 р., 2018 р.); науково-практичній конференції «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку» (м. Запоріжжя, 2019 р.). Повністю результати дисертації доповідались і схвалені на розширеному засіданні кафедри «Транспортні технології» ЗНТУ (м. Запоріжжя, 2019 р.).

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 15 наукових робіт, у тому числі 5 статей у фахових виданнях (з них 2 статті у виданнях, які включені до міжнародної наукометричної бази Scopus, 1 публікація у виданні, що включене до міжнародної наукометричної бази Thomson Reuters Web of Science (WoS)), 1 стаття в науковому англомовному виданні України, 8 тез доповідей на конференціях та 1 патент України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу,

п’яти розділів із висновками, загальних висновків, списку використаної літератури і додатків. Повний обсяг дисертації складає 160 сторінок, у тому числі 126 сторінок основного тексту; 21 таблиця, 49 рисунків, у тому числі 10 на повну сторінку, список використаних джерел з 106 найменувань на 13 сторінках, додатки на 11 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМТВА

З переходом до ринкових механізмів господарювання суттєво змінилося зовнішнє економічне середовище і підвищилися внутрішньовиробничі вимоги, що значно ускладнило роботу транспортно-складської системи підприємств.

Транспортно-вантажна система металургійних підприємств являє сукупність ряду транспортно-вантажних комплексів [1, 2], що виконують конкретні функціональні завдання в мікропотокових процесах прийому сировини, відвантаження продукції і міжцехових технологічних перевезень.

При логістичному підході до управління транспортно-складської системою передбачається вирішення таких завдань: вибір виду і типу транспортних засобів; спільне планування транспортних процесів зі складськими та виробничими процесами; узгодження роботи різних видів транспорту; визначення раціональних маршрутів доставки вантажів; раціональне розміщення складів [3]. Тому функціонування ТСЛС як частини виробничої логістики, у взаємозв'язку з ресурсною та функціональною логістикою, є процесом досягнення встановленої мети при наявності енергоресурсів, організаційних структур технологічних процесів, системи управління і впливу навколишнього середовища [4].

Великий внесок в дослідження та удосконалення роботи транспортно-складських систем промислових підприємств зробили: Бабушкін Г. Ф., Берестовий А. М., Бойко В. А., Губенко В. К., Гусев Ю. В., Козаченко Д. М., Маслак Г. В., Мінєєв С. П., Парунакян В. Е., Смирний М. Ф., Турпак С. М., Учитель О. Д., Чернецька-Білецька Н. Б. та ін.

Для удосконалення роботи транспортно-складських систем необхідно прискорити створення і впровадження передової техніки і технології та значно

підвищити рівень комплексної механізації навантажувально-розвантажувальних і ремонтних робіт [5].

Ефективність транспортно-складської системи суттєво залежить від організації виконання вантажних операцій, що характеризуються такими передумовами, як своєчасна доставка, відновлення сипкості, розвантаження, складування, зниження трудомісткості при цих процесах, зменшення втрат вантажів тощо [6, 7].

1.1 Особливості транспортування та розвантаження сировини в холодний період року

Проблема розробки і використання нових підходів до організації і управління перевезеннями та вантажопереробки на підприємстві є важливим напрямком підвищення ефективності його діяльності. Процеси виконання вантажних робіт на промислових підприємствах для певного переліку сипких вантажів залежать від їх фізичного стану. В холодний період року такі вантажі змерзаються, що потребує додаткових витрат часу та енергоносіїв на відновлення їх сипкості.

Методи організації перевезень та управління в зазначених умовах передбачають заходи щодо використання засобів профілактики проти змерзання, створення запасів вантажів на складах підприємства-споживача в теплий період року, сприятливий для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, облаштування пунктів розігріву вантажів у вагонах та використання інших засобів забезпечення нормального ходу процесів виконання вантажних робіт. Актуальним напрямком досліджень залишається розробка нових методів ефективного використання всіх технічних засобів, які задіяні в транспортно-технологічних процесах.

Проблема боротьби зі змерзанням масової сировини, що перевозиться залізничним транспортом, є дуже актуальною і важливою, даній проблемі присвячений ряд наукових праць [8-12].

Над питанням транспортування та розвантаження сипучих вантажів в зимовий період, а також попередження їх змерзання працюють провідні вчені: Дженчако В. Г., Нагаєва Л. В., Олейніков О. І., Соловйов В. А., Подвицкий М. Г., Приходько А. А., Шкворникова Г. М., Гурін Ю. А., Іванов В. М., Ігнатова Н. В., Рудник М. І., Батраков І. І, Виноградов В. К., Куртуков Я. М., Наумов С. С., Носков Ю. А., Ялоха-Коха Х. та ін.

Однією з найважливіших умов виконання графіку роботи металургійних підприємств є забезпечення безперебійної подачі кам'яного вугілля, рудних матеріалів, будівельних матеріалів і т.д. У зимових умовах при транспортуванні залізничним транспортом сипучі вантажі змерзаються, що ускладнює вивантаження, а також роботу транспорту і промислових підприємств [13].

В більшості випадків розвантаження таких вантажів неможливе без попереднього розпушення або розморожування [14]. Через це в пунктах вивантаження сировини часто відбуваються затримки і накопичується велика кількість вагонів з вантажами, що змерзлися.

Проблема змерзання вантажів призводить до ряду наслідків [15]:

- розвантаження вагонів вимагає великої витрати часу і праці, оскільки вантажі примерзають до їх стінок;
- знижується рівень збереження вагонного парку;
- збільшується час знаходження вагонів під вантажними операціями;
- підвищується собівартість обробки вагонів;
- зменшуються переробні потужності станцій і в цілому ускладнюється робота залізничного транспорту.

Тому питання транспортування та розвантаження сипких вантажів в зимовий період року є актуальним як для магістрального залізничного транспорту, так і для транспорту промислових підприємств.

На умови зберігання, перевантажень і транспортування сипучих вантажів впливають такі основні фізичні властивості, як щільність, вологість, пористість, гранулометричний склад, абразивність, а також корозія та інші специфічні властивості.

Рудні вантажі характеризуються великими коливаннями щільності, яка залежить від вмісту основного компонента, вологості і пористості [16]. Вологість руди змінюється в межах від 4 до 25%, впливає на якість руди і основні фізичні властивості, а також на здатність змерзатися при перевезеннях в холодну пору року. Гранулометричний склад, а також специфічні властивості рудних вантажів, такі як злежуваність, зв'язність і липкість можуть викликати мимовільне виникнення склепінь над випускними отворами бункерів, воронок і люків рухомого складу. Явище склепоутворення перешкоджає вільному вивантаженню вантажу і вимагає прийняття спеціальних заходів для нормалізації перевантажувальних процесів.

Рудні концентрати є продуктами глибокої збагачення залізовмісних та інших видів руд на гірничо-збагачувальних комбінатах. Особлива цінність цього виду рудної сировини полягає в підвищенні вмісту корисного компонента, який в окремих видах концентратів доходить до 90%. За гранулометричним складом концентрати являють собою тонкоподрібнену порошкоподібну пиловидну масу з розмірами окремих частинок від 0,6 до 0,025 мм, при чому основну масу концентратів (75%) складають пилоподібні частки з розмірами від 0,05 мм і менше. Вологість концентратів може змінюватися від 1,0 до 10-15%. Гранулометричний склад концентратів і вологість істотно впливають на величину щільності (ρ = 2,6 - 1,7 т / м3), а також на умови перевезення і зберігання.

При невеликій вологості концентрати мають властивості сипучих тіл і легко просочуються в нещільності і щілини кузова вагона, видуваються зустрічними потоками повітря, особливо при збільшенні швидкості руху поїздів. Зі збільшенням вологості концентрати проявляють в теплу пору року таку властивість, як липкість і при вивантаженні на вагоноперекидачах у вагонах залишаються досить великі маси вантажу. Зачистка вимагає великих трудових витрат. Сили адгезії (прилипання до підлоги і стінок вагонів) починають проявлятися при вологості 7% і досягають максимуму при вологості 14%.

У холодну пору року перевозяться концентрати, що сильно змерзаються [17]. Зазначені обставини вимагають особливих умов перевезення та профілактичних заходів. Допустима вологість концентрату взимку повинна становити 1 – 2%, а влітку 6 – 10%, перевезення повинне здійснюватися у спеціально пристосованих вагонах. У зимовий період копалини вугілля схильні до змерзання, особливо після гідровидобутку і проходження мокрого збагачення. Глибина промерзання копалин вугілля залежить від вологості, тривалості перевезення, температури зовнішнього повітря і величини коефіцієнта теплопровідності [18]. Встановлено, що вугілля з більшою щільністю володіє великим коефіцієнтом теплопровідності. Для запобігання змерзання вантажовідправники зобов'язані знизити вологість вугілля до безпечних меж: кам'яне вугілля – 7%. Якщо це неможливо, то вантажовідправник повинен застосувати профілактичні заходи, спрямовані на запобігання або зменшення ступеня змерзання.

Процесу розвантаження передує ряд транспортно-експлуатаційних факторів [19]. Наприклад, якщо вугілля вантажиться при теплій погоді, набирає або утримує вологу в процесі транспортування, спресовується від хитавиці і прибуває в регіон, де в цей час вже морози, то в результаті отримуємо «моноліт», який вивантажити звичайними засобами неможливо. Ця проблема вирішується двома шляхами: запобіганням змерзання вантажу, або відновленням його сипучості.

До числа традиційних профілактичних заходів [20], що зберігають вантажі від змерзання відносяться: попередня сушка насипних вантажів до безпечної вологості; промерзнення зволожених вантажів до їхнього навантаження; рівномірне кроплення їх маси, палуб і стінок трюмів кам’яновугільними і мінеральними маслами, профілактичними рідинами (ніогріном, ісеверіном, розчинами хлористого кальцію і кухонної солі); пересипання вантажу негашеним вапном, тирсою.

Особлива увага в приділяється заходам запобігання змерзання вугілля [21]. Їх можна розділити на дві групи: профілактика змерзання і відновлення

сипучості змерзлих вугілля перед вивантаженням або в процесі вивантаження]

До першої групи заходів відносяться:

- Зневоднення і сушка вугілля. Механічне зневоднення і сушка вугілля здійснюються як завершальний етап процесу мокрого збагачення. Зневодненню піддають концентрат, шлами. Для зниження вологості вугілля після мокрого збагачення застосовують механічне зневоднення за допомогою зневоднюючих, центрифуг, а також вакуум-фільтрів. Застосування механічного зневоднення не забезпечує зниження вологи до безпечного межі, тому вугілля піддають термічній сушці, доводячи вміст вологи в них до можливого меншого значення, що визначається економікою і умовами безпеки роботи [22]. Цей спосіб один з найдорожчих процесів. Так в собівартості збагачення 1 т рядового вугілля 23-25% припадає на сушку.

- Перемішування вологого вугілля з сухим. Метод заснований на поглинанні сухим вугіллям вологи, що міститься у вологому вугіллі. Перемішування вологого вугілля з сухим можна здійснювати різними способами. Поширеним способом є його пошарове пересипання шляхом чергування сухого і вологого вугілля в процесі навантаження. При цьому спочатку на дно напіввагона завантажується шар сухого вугілля. Далі завантаження вагона повинне проводитися так, щоб висота сухого вугілля дорівнювала подвійній висоті вологого. Верхній шар повинен бути утворений з сухого вугілля. Цей метод не можна визнати ефективним, так як він вимагає наявність сушильних установок; додаткових операцій при навантаженні, що знижує продуктивність праці, призводить до додаткового простою і маневрування вагонів при навантаженні [23]. Разом з тим на збагачувальних фабриках спосіб перемішування сухого вугілля з вологим знаходить застосування в досить значних масштабах.

- Переморожування вугілля. В основі способу видалення поверхневої вологи, що є першопричиною змерзання сипучих матеріалів, шляхом її виморожування (сублімації) лежить процес тепло- і масообміну між вологим матеріалом і холодним повітрям, що його обдуває. Сутність застосовуваного

попереднього переморожування полягає в перелопачуванні вологого матеріалу за допомогою механізмів (бульдозерів, екскаваторів) і після – витримування на морозі. Операція повторюється неодноразово до забезпечення сипучості вугілля і його повного змерзання та подальшого дроблення з таким розрахунком, щоб забезпечити вільне вивантаження вагонів. Такий спосіб вимагає додаткових механізмів і штату [24]. Застосування механізмів призводить до подрібнення вугілля. Крім цього цей метод повністю не виключає можливість змерзання вугілля при тимчасовому настанні відлиги. Оскільки попереднє переморожування вугілля не виключає його змерзання, а лише частково послаблює примерзнення вугілля до стінок вагонів цей метод не можна вважати раціональним [25].

До другої групи відноситься: тепловий вплив шляхом розігріву вагонів з примерзлим або вугіллям, що змерзлося в спеціальних гаражах (тепляках) і механічний вплив за допомогою буророзпушувальних, віброударних і вібророзпушувальних машин [26].

При перевезеннях вантажів на далекі відстані в умовах низьких температурах навколишнього повітря, мінливих кліматичних і метеорологічних умовах (особливо в перехідні періоди року) вантажоодержувачі оснащують свої пункти вивантаження вантажів, що змерзаються засобами розігріву [27] чи механічного подрібнення для поновлення сипучості таких вантажів.

В більшості випадків для виконання розвантажувальних робіт вагонів з насипними вантажами на залізничному транспорті в зимових умовах застосовуються різні машини і пристрої [28]: пристрої грейферів, підвищені шляхи, самохідні навантажувачі безперервної дії, інерційні установки, підлогові розвантажувачі різних модифікацій та інші.

Відсутність на більшості станцій сучасних розвантажувальних комплексів [29] і застосування застарілих технологій розвантаження вантажів, що змерзлися призводить до зниження рівня збереження вагонного парку, підвищення обороту вагонів і собівартості їх обробки, а також зниження переробної потужності залізничних станцій.

Кожний з видів розігріву вантажів, що змерзлися в загальному випадку є термічним розморожуванням – це універсальний спосіб, що дозволяє повністю відновити сипкість будь-якого виду вантажу, що змерзся при будь-якій глибині його промерзання [30].

Глибина промерзання вантажів залежить від ряду чинників, які необхідно враховувати при виборі виду розігрівання [31]:

- температура навколишнього середовища та інших умов перевезення (швидкість руху, тип вагону, тривалість стоянки в пунктах вантаження і в дорозі проходження та інші);

- фізико-хімічні (вологість, гранульований склад, початкова температура змерзання вологи інші);

- теплофізичні характеристики вантажів, що змінюються залежно від зміни температури вантажу (теплоємність, щільність вантажу, коефіцієнт теплопровідності, тепловіддача).

Розморожування пористих середовищ в вагонах найчастіше здійснюється в гаражах-тепляках. Тепляк для розморожування вантажів, являє собою капітальну споруду з камерами, спеціальними пристроями для вироблення і подачі в них теплоносія, що має високу температуру.

Відомі способи розморожування сировини в залізничних вагонах в гаражах з конвективним теплообміном, в яких використовуються різні методи визначення тривалості його розігріву [32 - 35].

В [32] визначення тривалості розігрівання вугілля в залізничних вагонах ґрунтується на наступних факторах: середньодобовій температурі повітря (t 0C), тривалості транспортування (Т), міцності змерзання вантажу ($P_{ср}$), вологості вантажу (W) і об'ємної щільності вантажу (К).

В [33] тривалість розігріву вугілля в залізничних вагонах ґрунтується на температурі зовнішнього повітря. Відомий спосіб розігріву рудомісткої сировини в залізничному вагоні струменями пари з великою швидкістю витікання [34]. Для цього попередньо просвердлюються канали вглиб масиву, а тривалість розігріву ґрунтується на наступних показниках: діаметрі отвору

сопла (d) і тиску пари (P) на різній глибині (h) промерзлого шару.

Проведений аналіз [32 - 34] показав, що всі розглянуті способи характеризуються загальним недоліком: розрахункові показники тривалості розігрівання вантажів, що змерзаються. Це обумовлено тим, що, в одному випадку, способи ґрунтуються на складних математичних моделях прогнозування тривалості розігрівання, що приймають в основу велике число змінних факторів [32, 33], значно різняться з фізичної сутності і ступеня впливу на кінцевий результат. Тому ймовірність отримання надійних результатів невелика.

В іншому випадку [34] спосіб визначення тривалості розігрівання орієнтований на найбільш несприятливі умови, в зв'язку з чим розрахункова тривалість розігріву вантажу суттєво збільшується в порівнянні з нормативною, що діє в даний час, що обумовлює значне зростання енерговитрат на розігрів.

Відомий спосіб розігріву змерзлого вугілля в залізничних вагонах, в якому тривалість розігріву основна на визначенні температури в самому шарі вугілля спеціальними пристроями [35]. З цією метою необхідно виконання декількох вимірів температури вантажу – перед постановкою в гараж і в процесі розігріву, оскільки температура в масі вантажу розподілена нерівномірно. Крім того, для вимірювання температури використовується досить складний пристрій. Усе зазначене ускладнює застосування даного способу і не забезпечує отримання достовірних результатів. Разом з тим цей спосіб приваблює тим, що попередньо оцінюється стан самого змерзлого вантажу, хоча температуру вантажу не можна вважати досить надійним показником відновлення сипучості вантажу.

В роботі [36] розглянуто основні прогресивні рішення закладені в технологію руйнування змерзлого сипучого вантажу в залізничних піввагонах перед його розвантаженням в зимовий час. Розглядається стаціонарна вібророзпушувальна установка, спеціальні гаражі-розморожувачі (конвективний, комбінований, з інфрачервоними випромінювачами і пальниками), вагоноопрокидувачі і дробильно-фрезерні машини.

Тому в рамках даної роботи зроблена спроба розробити ефективну технологічну схему розвантаження змерзлих і агрегованих сипучих вантажів з залізничного транспорту за допомогою вагоноперекидача. Запропонована технологічна схема розроблялася, в основному, для розвантаження змерзлого вугілля, однак вона може бути застосовна для будь-яких інших сипучих вантажів, що перевозяться залізничним транспортом в холодну пору року. Технологічна схема включає в себе 6 основних елементів, виконання яких, з погляду автора роботи, є необхідним для виконання ефективної і високопродуктивної розгрузки змерзлих сипучих вантажів з залізниці піввагонів при будь-якій зовнішній мінусовій температурі повітря [37]. Для розуміння сутності схеми далі розглянемо основні технічні засоби та технологічні прийоми, відповідно, входять саме в ці елементи технологічної схеми:

- вібраційне розпушування мерзлого вантажу за допомогою стаціонарних вібророзпушувальних установок типу ВРУ або, в крайньому випадку, при малій продуктивності – переносних вібророзпушувачів;

- розігрів напіввагона з "розпушеним" мерзлим вантажем в гаражі-розморожувачі (тепляку);

- подача вагонів з розігрітим і з частково відновленою сипучістю вантажем на вагоноперекидача;

- вивантаження вантажу шляхом перекидання напіввагона в вагоноперекидачі;

- дроблення, при необхідності, великих агрегованих шматків вантажу, які не проходять через отвори в надбункерних решітках, вручну відбійними молотками, молотково-дробильними або дробильно-фрезерними машинами, наприклад, типу ДФМ.

Запропонований в роботі [38] спосіб вивантаження вугілля, що змерзлося, полягав в тому, що перед навантаженням вугілля внутрішні поверхні вагона покривають шаром самочинного снігу, після чого вагон з нанесеним покриттям піддають дії низьких температур протягом часу, необхідного для повного

змерзання снігу. Цей шар буде грати роль діелектрика. Перед розвантаженням вагона в вугілля поміщають металеві електроди. Потім на електроди подається напруга. Проходження струму через вугілля, що змерзлося, призводить до виділення тепла, розплавлення частинок льоду і, отже, розпушення всього вугільно-крижаного моноліту, що дозволить досягти підвищення швидкості розвантаження піввагонів в зимовий період, заповнених вугіллям, що змерзлося, обумовлене нагріванням вугілля внаслідок протікання по ньому електричного струму і розпушуванням вугільно-льдового моноліту, спрощенням процесу відділення змерзшогося вугілля від стінок напіввагонів, а також зниження енергетичних витрат і трудомісткості процесу розвантаження.

В роботі [39] для математичного моделювання нестаціонарних процесів при заморожуванні і розморожуванні пористих середовищ використані метод виділення фронту фазового переходу і метод ефективної теплоємності. Обидва методи реалізовані за допомогою методу контрольних об'ємів.

Важливим фактором вдосконалення процесу обробки вагонів в зимовий період є синхронізація роботи станцій і гаражів розморожування за їх переробним можливостям [40]. Однак, для цього необхідно мати досить надійну методику визначення тривалості розігрівання вантажу, як основного фактора, що визначає переробну спроможність гаражів розморожування. Відповідно до існуючої технології тривалість розігріву вантажу визначається за нормативними даними, встановленим з урахуванням температури навколишнього середовища і тривалості перебування вагонів з вантажем під час перевезення [41].

Проведений порівняльний аналіз нормативної та фактичної тривалості розігрівання показав суттєві розбіжності цих величин. Так тільки в 25% випадків нормативна і фактична тривалість розігріву збігаються, в 63% випадків розбіжність становить від 1 до 6 годин, а в 12% випадків розбіжність 6 годин і більше. Це обумовлено тим, що при встановленні нормативів прийняті усереднені дані не відповідають конкретним умовам експлуатації. Тому виникає необхідність визначення тривалості розігрівання стосовно конкретних

експлуатаційних умов промислових підприємств [42].

З вищесказаного випливає, що традиційні методи не дають можливості точно визначити переробну спроможність гаражів розморожування і раціонально планувати оперативну роботу вантажних фронтів в зимовий період.

Таким чином, існуючі технології і організація процесу доставки та розморожування сипких вантажів в холодний період року мають істотні недоліки, які значно збільшують тривалість переробки вагонів. Виникає потреба розробки методів, які забезпечать ефективну роботу ТСЛС МП з урахуванням взаємозв'язків системи планування вантажної роботи та сучасних технологій вантажопереробки.

1.2 Застосування транспортних задач для оптимізації розподілення вантажів

Транспортна задача (ТЗ) є найбільш розробленим розділом лінійного програмування з формальної постановки, методів рішення і практичних додатків. Класична транспортна задача є прикладною задачею лінійного програмування, в якій потрібно знайти оптимальний план транспортування деякого однорідного продукту з кінцевого числа пунктів поставки із заданими обсягами виробництв в кінцеве число пунктів споживання з відомими обсягами потреб [43]:

- мінімізує сумарну вартість транспортування;
- не перевищує обсяг виробництва у кожному пункті поставки;
- повністю покриває потреби у кожному пункті споживання, при заданій вартості перевезення одиниці продукту, що транспортується між кожною парою пунктів постачання та споживання.

Формування цілей підвищення ефективності у вигляді транспортної задачі при оптимізації процесу перевезень досить популярна. Зокрема це обумовлено значною кількістю дієвих методів її розв'язання.

Проте на практиці нерідко виникають завдання, формалізація яких не призводить до класичної схеми транспортної задачі. Рішення задач такого роду вимагає серйозного методичного забезпечення, розробки моделей і методів оптимізації витрат і, що найголовніше, створення на цій основі систем підтримки прийняття рішень [44].

При використанні ТЗ для оптимізації залізничних транспортних систем можуть виникати складності через невідповідність вихідних посилок транспортної задачі в статичній постановці і динамічної сутності процесів в адаптивних системах. Через неритмічність роботи постачальників і споживачів потоки в системі нестабільні і оптимумом об'єктивно є деякий динамічний процес з перебудованою структурою потоків. Таким чином, проблема оптимізації зміщується з області пошуку найкращої статичної схеми потоків в область вдосконалення перехідних процесів в потокових системах.

В реальних процесах організації доставки вантажів інтенсивність постачань сировини та потреба в ній споживача, зазвичай, є випадковими величинами. За таких умов при розв’язанні оптимізаційних задач розрахункові показники ефективності, зокрема, вартість перевезень, також являються випадковими. Ця специфіка обумовлює поряд зі звичайними властивостями задачі лінійного програмування низку властивих лише їй особливостей [45].

Сучасний підхід, на відміну від традиційних методів, при вирішенні задачі оптимізації плану транспортування вантажу від постачальників до споживачів враховує, що в умовах ринкової економіки оскільки параметри транспортної задачі, як правило, не є детермінованими величинами. На практиці випадковими є можливості постачальників, потреби споживачів (попит на продукт), а також вартості перевезень з відомою щільністю розподілу. Зрозуміло, що в цих умовах рішення задачі теж є випадковим і його отримання традиційними методами неможливе [46].

В роботі [47] розглядається динамічна транспортна задача з затримками. Зазначений підхід являє собою розвиток змістовної постановки задачі лінійного програмування в динамічну область. Під «динамікою» тут розуміється

врахування фактора часу при формуванні структури задачі - тривалості доставки, розподілу обсягів виробництва і споживання у часі, зміна запасів продукту в кінцевих і проміжних пунктах. При застосуванні даного підходу в транспортно-складських системах важливо врахувати не тільки транспортні витрати, а й втрати на стику транспорт - споживач. Втрати на стику можуть виникати як наслідок випадкового розкиду часу доставки вантажів і випадкових відхилень від планового ритму споживання. Облік випадкового розкиду параметрів потребує стохастичної постановки такої задачі.

При розв'язку багатоіндексних розподільних задач часто зустрічаються з такими проблемами, як велика розмірність вихідних даних та багатопараметричність задачі оптимізації [48]. Існують різні підходи до окремого рішення даних проблем [49 – 52], розроблена теорія розв'язання багатоіндексних задач лінійного програмування в загальному вигляді [53]. Рішення багатоіндексної транспортної задачі може бути отримане методом потенціалів, однак практична реалізація цього методу є трудомісткою, тому що містить велику кількість ітерацій.

В роботі [54] для розв'язку багатоіндексної задачі транспортної логістики пропонується використовувати метод нуль-перетворення вихідних матриць вартостей для отримання початкового опорного плану, що істотно прискорює процедуру рішення. Використання умов існування рішення для багатоіндексних задач транспортної логістики дозволяє отримати початковий опорний план шляхом розрахунку за формулами, не вдаючись до стандартних трудомістких алгоритмічних процедур.

Існують трьохіндексні планарні транспортні задачі з нелінійними функціями вартості [55]. Для наближеного вирішення поставлених задач запропоновано метаевристичний еволюційний алгоритм. Переваги паралельного пошуку з декількома популяціями полягають в більш високій швидкості збіжності та стабільності часу отримання рішень.

В ході аналізу встановлено, що в чистому вигляді наведені підходи до розв'язку транспортних задач не пристосовані повністю для реалізації

удосконаленого методу планування розподілу вантажопотоків в холодний період року. Необхідно сформувати нові процедури, які будуть базуватись на відомих оптимізаційних алгоритмах.

1.3 Використання інструменту імітаційного моделювання при плануванні роботи ТСЛС МП

Аналіз сучасної економічної ситуації свідчить про стійке зростання промислового виробництва. В умовах економічного підйому промислові підприємства зіткнулися з проблемами забезпечення сировиною та вивезення готової продукції. Існують серйозні ризики помилок у проектних рішеннях по транспорту, які не дозволять освоїти перспективні плани випуску продукції. Крім того, в складних промислових транспортних системах завжди є питання по існуючій технології, яку можна і необхідно оптимізувати.

Вирішення складних питань вимагає використання відповідних розрахункових методів [56]. Існують чотири основні підходи, які використовувалися в тій чи іншій мірі для розрахунку пропускної здатності промислової транспортної системи і окремих її елементів, кількості колій у парках і т. п.: аналітичний детермінований, аналітичний імовірнісний, графо-аналітичний з побудовою добового плану-графіку та імітаційне моделювання. Всі методи крім останнього дають великі похибки.

Імітаційне моделювання дає можливість дослідження й імітації особливостей функціонування системи в будь-яких умовах. При цьому параметри системи й навколишнього середовища можна варіювати з метою визначення раціонального варіанта структури й одержання залежностей вихідних характеристик від зміни умов. Модель дозволяє легко реалізувати імітацію роботи системи при наявності випадкових параметрів або умов.

Застосування методу імітаційного моделювання корисно у випадку, коли досліджувана система не піддається вивченню аналітичними методами, а пряме експериментування із системою виконати важко або недоцільно. На

рисунку 1.1 наведені основні етапи імітаційного моделювання.

Рисунок 1.1 – Етапи імітаційного моделювання

Перевагою імітаційного моделювання є можливість моделювання складних систем в тих випадках, коли ускладнене використання аналітичних методів, необхідно враховувати стохастичний характер процесів, компоненти системи змінюються в часі і взаємодіють між собою [57].

Наявність великої кількості випадкових факторів, підпорядкованих різним законам розподілу, значно ускладнює чисто аналітичні методи аналізу та оптимізації функціонування термінальних систем і робить вельми привабливим спосіб досліджень, що використовує методи, засновані на застосуванні прийомів імітаційного моделювання [58]. Це дає можливість значно спростити методику аналізу впливу згаданих факторів на узагальнюючі показники роботи систем, швидко змінювати закони розподілу, яким підпорядковуються ці фактори і без особливих складнощів змінювати умови роботи систем та їх основні параметри. Методика економіко-математичного імітаційного моделювання полягає в створенні досить простої, несуперечливої і адекватної реальним процесам моделі, що імітує функціонування досліджуваної системи. Випадкові події, що відбуваються в процесі функціонування системи, відтворюються шляхом використання різних генераторів випадкових процесів, що дозволяє швидко і без особливих витрат часу міняти закони і параметри їх перебігу і тим самим змінювати як параметри самої досліджуваної системи, так і умови, в яких вона функціонує.

Удосконалення логістичних ланцюгів у виробництві та матеріально-технічному постачанні може бути досягнута тільки при врахуванні вимог ринку. Для досягнення такої оптимізації також пропонується використовувати моделювання [59].

Логістичний підхід вимагає узгодженості процесів переміщення та зберігання продукції. Різноспрямованість дій контрагентів руху продукції веде до збільшення загальних логістичних витрат і зниження якості наданих послуг. Проте в даний час питання ефективної взаємодії транспорту та складського господарства дуже актуальні [60].

При визначенні тривалості циклу «замовлення-поставка» доводиться шукати компроміс між швидкістю доставки товарів покупцям і максимальною економічністю маршруту. Якщо не оптимізувати застосування транспортних засобів при транспортуванні вантажів, витрати можуть різко зрости, що зведе нанівець позитивний ефект від підвищення рівня сервісу. Тільки застосування

сучасних логістичних підходів дозволяє знайти правильне рішення цієї складної задачі [61].

Внутрішньозаводська логістика будь-якого металургійного підприємства є складною системою, і при зміні виробничих об'єктів змінюються матеріалопотоки, ускладнюється управління ними, непропорційно зростають накладні витрати [62]. Крім того, стосовно прокатного виробництва металургійних підприємств, внутрішньозаводські перевезення суттєво впливають на процеси відправлення готової продукції.

Ефективність функціонування залізничного транспорту на промислових підприємствах значною мірою залежить від якості роботи станцій та вузлів, які є одними з найважливіших елементів транспортної системи. З огляду на значну складність технологічних процесів функціонування залізничних станцій і вузлів, побудувати їх адекватні моделі можна тільки на основі імітаційного моделювання. Особливості імітаційного моделювання роботи залізничного транспорту висвітлені у роботах [63 – 65].

Доцільним є напрямок розробки типових імітаційних моделей, які можуть бути використані при оптимізації транспортних процесів металургійних підприємств та можуть бути реалізовані на сучасних програмних засобах [66]. При розробці моделі розігрівання вантажів необхідно враховувати особливості транспортної системи, що моделюється [67]. Оптимізація транспортно-технологічних процесів при змерзанні вантажів може бути виконана за допомогою імітаційних моделей за різними критеріями – мінімумом часу простою вагонів, мінімальною довжиною черги, мінімальним часом непродуктивного простою вагонів у камерах тощо [68].

Таким чином інструмент імітаційного моделювання є одним з найефективніших методів дослідження систем та кількісної оцінки характеристик їх функціонування. Даний метод дає можливість проводити експерименти зі складними транспортно-складськими системами у тих випадках, коли зробити це на реальному об'єкті неможливо або недоцільно та може забезпечити будь-який рівень деталізації моделей.

1.4 Висновки по розділу 1

В даному розділі проведено аналіз сучасного стану проблеми ефективності функціонування транспортно-складських логістичних систем металургійних підприємств, визначені мета і завдання дослідження.

1. Актуальним є завдання удосконалення системи управління процесами функціонування транспортно-складської системи на промислових підприємствах у холодний період року, коли відрегульований процес виконання вантажних робіт значним чином ускладнюється під впливом стохастичних коливань температури навколишнього середовища. За таких умов підвищення ефективності ТСЛС може бути досягнуте за рахунок зменшення витрат на її функціонування шляхом скорочення простою транспортних засобів.

2. Аналіз виконаних досліджень показав, що потребують розвитку саме технології організації доставки вантажів, які б забезпечили найбільш ефективне застосування новітніх напрацювань в технічній сфері та логістиці. Ці напрацювання необхідно пов’язати з сучасними методами організації та управління перевезеннями, зокрема, з оптимізацією оперативного управління.

3. В ході аналізу встановлено, що в чистому вигляді наведені підходи до розв’язку транспортних задач не пристосовані повністю для реалізації удосконаленого методу планування розподілу вантажопотоків в холодний період року. Необхідно сформувати нові процедури, які будуть базуватись на відомих оптимізаційних алгоритмах.

4. На сьогоднішній день в системі планування вантажної роботи на металургійних підприємствах також не повністю реалізовані наукові підходи, що враховують сучасні методи підвищення ефективності розігріву вантажів. Існуючі технології і організація процесу доставки та розморожування сипких вантажів в холодний період року мають істотні недоліки, які значно збільшують тривалість переробки вагонів. Таким чином, проблема підвищення ефективності роботи ТСЛС МП є актуальною і потребує свого вирішення.

РОЗДІЛ 2

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКИХ СИСТЕМ МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ З УРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСІВ ВІДНОВЛЕННЯ СИПУЧОСТІ ВАНТАЖІВ

В умовах розвитку ринкової економіки все більш актуальним стає застосування логістичного підходу в управління металургійним підприємством. Питання переходу на логістичне управління процесом матеріальних потоків МП набув важливе значення, так як його рішення забезпечить ефективну взаємодію виробництва та транспорту [69, 70]. Це пов'язано із застосуванням нових матеріалів і технологій виробництва, розширенням числа горизонтальних господарських зв'язків між підприємствами металургійного комплексу, підвищенням інтенсивності економічних потоків у металургії та суміжних галузях. Впровадження логістичних методів і принципів дозволяє гнучко реагувати на потреби споживачів, скорочувати час між прибуттям сировини та часом доставки товарів, зводити до мінімуму товарні запаси та пришвидшувати процес отримання інформації [71].

Сфера використання логістичного підходу охоплює різні види систем. Вона може міститись у межах підприємств, або охоплювати цілі міста [15]. З цих позицій виділяють різні рівні логістичних систем: від мікрологістичних до макро- і мезологістичних.

2.1. Принципи системного підходу до управління функціонуванням ТСЛС металургійних підприємств

2.2.1 Місце транспортно-складських систем в логістичній системі металургійного підприємства

На сьогоднішній день немає єдиного прийнятого визначення логістичної системи. Одним з найбільш вживаним є визначення логістичної системи як

адаптивної системи зі зворотнім зв’язком, що виконує логістичні функції, яка, як правило, складається з підсистем та має розвинуті зв’язки з навколишнім середовищем [72].

У ринкових умовах підприємство, як суб’єкт господарювання не тільки виробляє продукцію, але й здійснює функції матеріально-технічного постачання (з метою забезпечення себе необхідними ресурсами) та збуту виробленої продукції [73]. З цього випливає, що логістична система металургійного підприємства (ЛС МП) становить собою складну систему зв’язків підприємства з постачальниками та споживачами (рис 2.1).

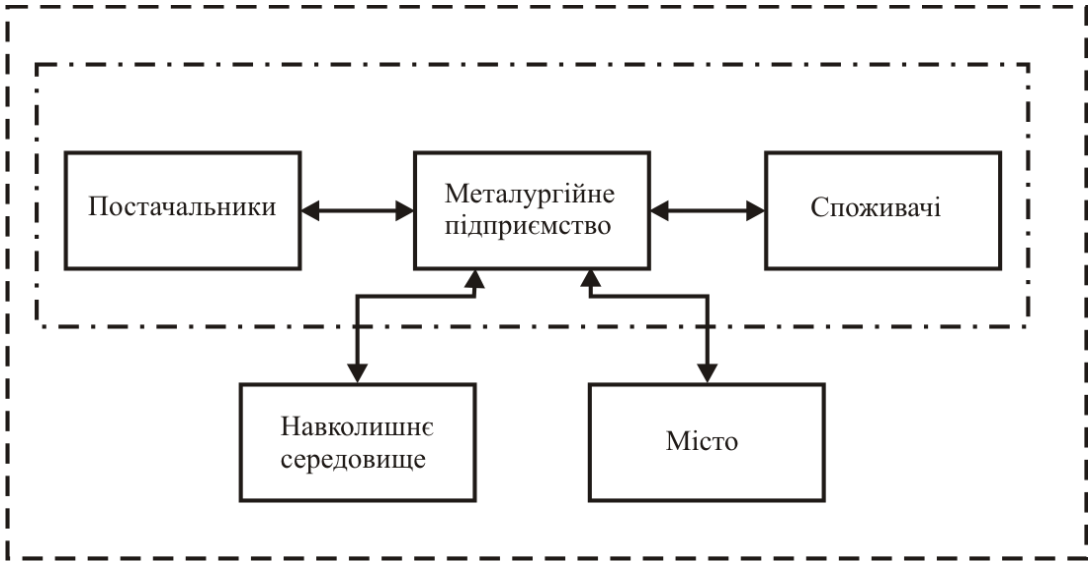

Рисунок 2.1 – Логістична система металургійного підприємства

Рух матеріальних ресурсів від первинного джерела до кінцевого споживача слід розглядати як єдиний матеріальний потік, що забезпечується транспортними засобами.

Характерними рисами ЛС МП є значні зв’язки з містом (нерідко МП є містоутворювальними) та навколишнім середовищем.

З позицій системного аналізу система – це цілісна сукупність елементів, що взаємодіють один з одним [74-77]. Логістична система МП включає в свою структуру набір взаємозалежних підсистем, що мають визначений ступінь автономності. У нашому випадку елементи логістичної системи утворюють

підсистеми: ТСС МП вивантаження сировини, виробнича система, ТСС МП готової продукції. Структура досліджуваної ЛС МП наведена на рис. 2.2.

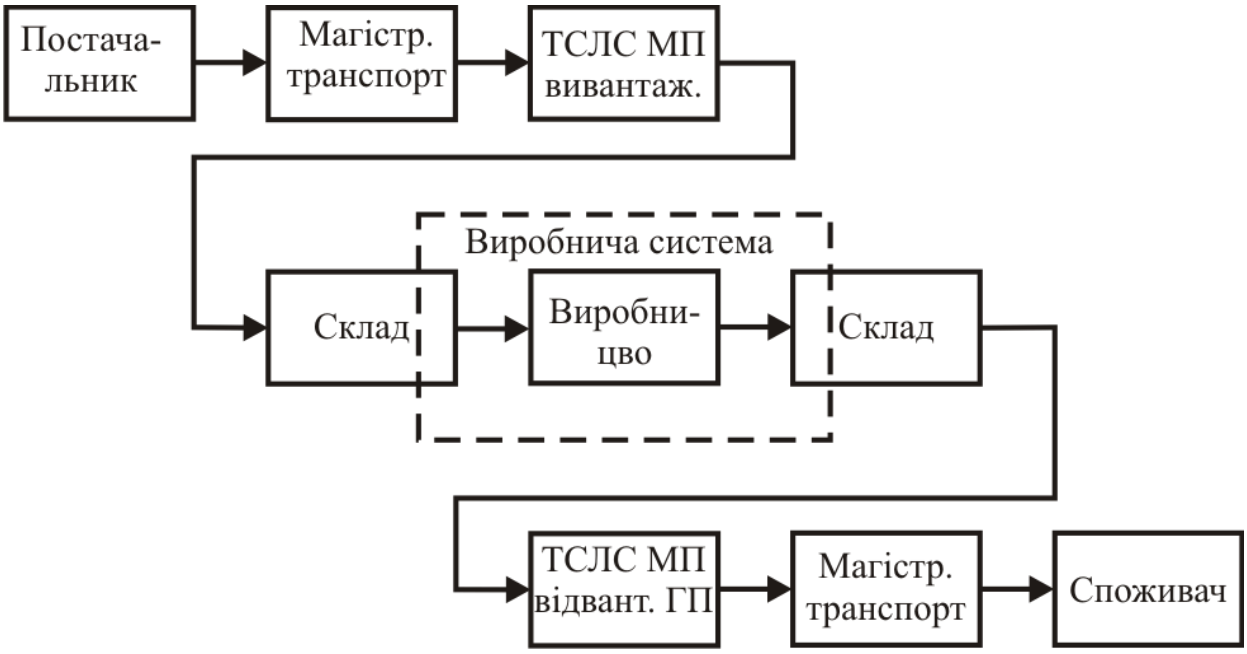

Рисунок 2.2 Структура логістичної системи металургійного підприємства

Важливою складовою логістичної системи МП є транспортно-складська система, що забезпечує своєчасний рух матеріального потоку [78]. Проте останнім часом, замість терміну транспортно-складська система (ТСС) більш поширеним стає визначення транспортно-складська логістична система (ТСЛС), що значно розширює її функціональні зв'язки.

Існують різні рівні ієрархії в транспортно-складських логістичних системах: загальнодержавний, регіональний, локальний, виробничий, і технологічний. Функціонування транспортно-складських логістичних систем відрізняється в залежності від рівня ієрархії і полягає в наступному [3, 77 79]:

– ТСЛС загальнодержавного рівня: оптимальний розподіл національних запасів матеріальних ресурсів, організація міжрегіональних і загальнодержавних матеріальних потоків;

– ТСЛС регіонального рівня: формування транспортних і складських мереж на основі оптимального поєднання шляхів сполучення і транспортних

терміналів з різними посередницькими системами зберігання і переробки;

– ТСЛС локального рівня: технології мікрологістичних і макрологістичних систем з їх специфічними технологічними параметрами, системами планування, фінансування, управління, рівнями технічного оснащення і т.д.

– ТСЛС виробничого рівня: взаємозв'язки між центральними виробничими складськими системами, внутрішньозаводським транспортом і транспортом загального користування;

– ТСЛС технологічного рівня: взаємозв'язки між логістичними елементами здійснюються внутрішньоцеховим і міжцехових транспортом за участю обробного обладнання цехових і дільничних складів.

Досліджувана в роботі система відноситься до ТСЛС виробничого рівня. Межі системи та її місце в логістичній системі металургійного підприємства наведені на рис. 2.3.

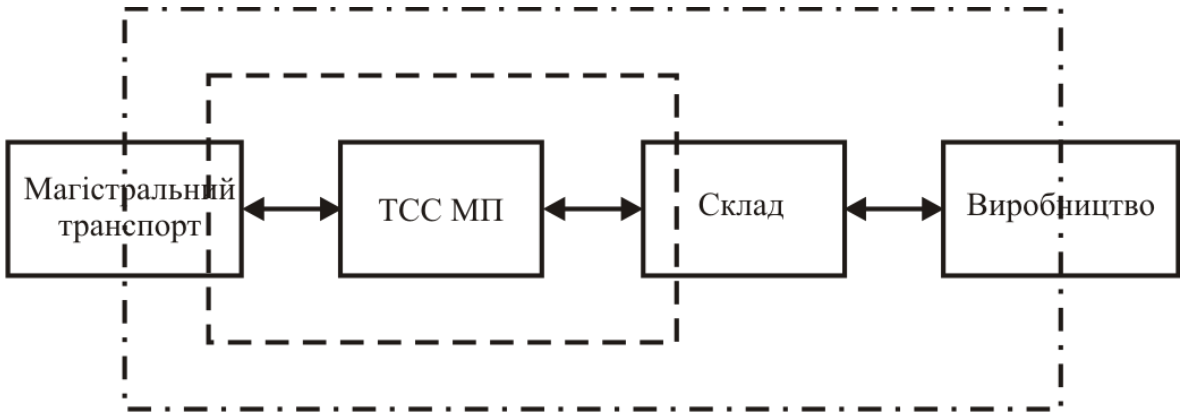

Рисунок 2.3 – Місце ТСЛС МП виробничого рівня в логістичній системі металургійного підприємства

ТСЛС МП може частково охоплювати інші частини логістичної системи Частина складу може бути елементом ТСЛС а інша частина – елементом виробничої системи. Наприклад, на рудному дворі окрім прийому сировини здійснюється технологічна підготовка шихти шляхом змішування у визначених пропорціях різних матеріалів.

На складі готової продукції металургійного підприємства, окрім транспортно-складських операцій, можуть виконуватися технологічні операції (різання рулонів на листи, охолодження прокату та ін.)

Елементи системи. Досліджувана система складається з двох підсистем: ТСЛС вивантаження та ТСЛС відвантаження готової продукції. Елементами ТСЛС МП (та її підсистем) є перегони, приймально-відправні та сортувальні парки (колії), пункти екіпірування, технічного обслуговування та ремонту рухомого складу, пристрої відновлення сипкості вантажів, вагові, вантажні фронти та пункти очищення вагонів.

Зв'язки. Наведені вище підсистеми пов'язані між собою матеріальними, фінансовими та інформаційними зв'язками.

Основний матеріальний потік – це напіввагони с сировиною, що надходять на підприємство з системи постачання до ТСЛС вивантаження через підсистеми магістрального транспорту та залізничного транспорту підприємства.

Після вивантаження порожні вагони (транспортний потік) за допомогою внутрішнього транспорту підприємства подаються до системи ТСЛС навантаження, до якої надходить і готова продукція з системи виробництва. Також порожні вагони можуть подаватися системою магістрального транспорту. За допомогою транспортних підсистем продукція відправляється до системи споживання.

Первинний інформаційний потік виходить із системи споживання, тобто в залежності від попиту споживачів система управління підприємства надає інформацію на виробничу систему та систему постачання про обсяги замовленої продукції та необхідної кількості сировини для її виробництва (вторинні інформаційні потоки).

Окрім того всі підсистеми пов'язані між собою складною системою інформаційних потоків, що представляє собою внутрішній документообіг підприємства. Схема основних зв'язків ТСЛС МП з іншими підсистемами ЛС МП наведена на рис. 2.4.

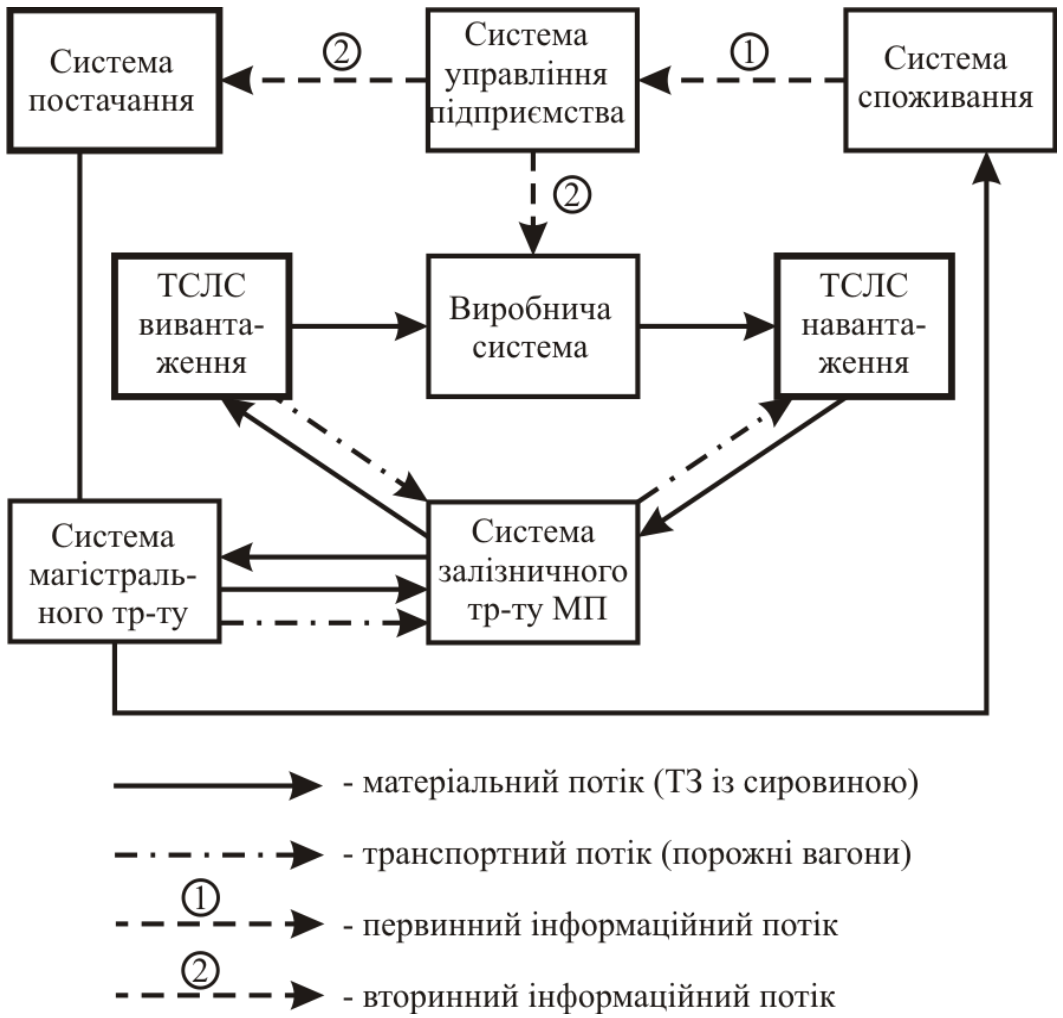

Рисунок 2.4 – Схема основних зв’язків ТСЛС вивантаження та навантаження з іншими підсистемами ЛС МП.

Внутрішня організація. Враховуючи вищесказане, наведена сукупність елементів та підсистем сформована у конкретну організовану систему, яка має визначену структуру та упорядковані зв’язки між її складовими, що свідчить про наявність внутрішньої організації системи.

Транспортно-складська логістична система металургійного підприємства має інтегративні властивості, які не притаманні окремим її елементам [80]. Ця властивість виражається у здатності доставити необхідну кількість визначеного вантажу на певний фронт вивантаження за мінімальний проміжок часу та з мінімальними витратами в умовах впливу навколишнього середовища.

Можна виділити такі показники якості системи: сумарні простої напіввагонів, коефіцієнт використання локомотивів, коефіцієнт використання горловини, витрати на розігрів вантажів, кількість оброблених напіввагонів за добу, час простою вантажу в очікуванні розігріву.

В ході аналізу системи встановлено узагальнюючий критерій ефективності – економічний, який враховує витрати на користування транспортними засобами. Також можна виділити такі додаткові критерії оцінки системи як тривалість циклу роботи системи та критерій мінімуму часу знаходження вагонів на під'їзній колії під вантажними операціями.

2.2.2 Аналіз існуючої схеми режимів роботи ТСЛС МП в умовах різних температур

В холодний період року вантажі, що надходять на підприємство мають властивість змерзатися. Їх розігрівання потребує додаткових витрат, а також збільшуються простої вагонів так як витрачається більше часу на вивантаження. Тому в теплий період року на металургійних підприємствах створювалися максимально можливі запаси сировини, щоб в зимовий період доставку таких вантажів звести до мінімуму (рис. 2.5).

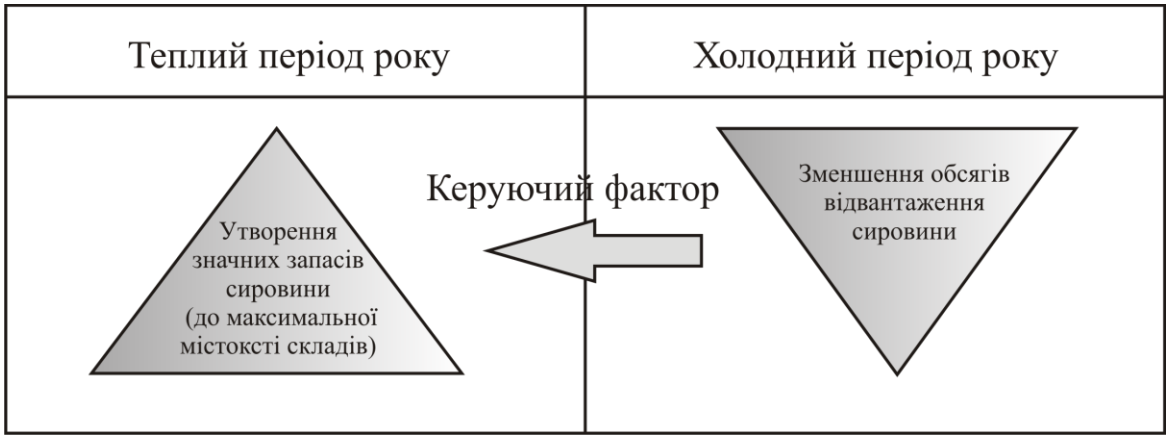

Рисунок 2.5 Існуюча схема режимів роботи МП в умовах різних температур

В умовах підвищення цін на руду для МП не є доцільним накопичення надлишкових запасів. Більш вигідним варіантом є створення раціонального розміру запасу сировини на складах. У такому випадку обсяги постачань вантажів у холодний період року збільшаться відносно попередньої схеми. А отже постає питання удосконалення системи планування та транспортно-складської логістичної системи вивантаження сировини [81].

Як бачимо, у першому випадку потреба у зменшенні обсягу надходження вантажів у холодний період року виступає керівним фактором при створенні запасів на підприємстві.

В запропонованій схемі (рис. 2.6) навпаки режим роботи ТСЛС МП вивантаження залежить від раціонального запасу сировини. Згідно з визначеним запасом будуть плануватися постачання вантажів на підприємство, робота пристроїв розморожування та локомотивів, розподіл вантажу за фронтами вивантаження тощо. Існують чисельні методики визначення оптимальних запасів [82 – 85], але в реальних умовах існує потреба оперативного контролю та управління за станом цих запасів.

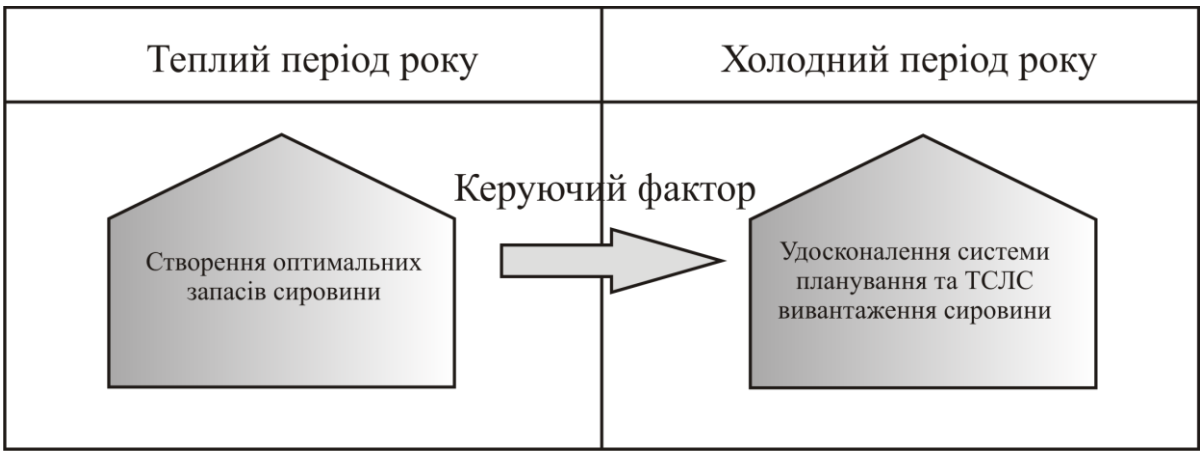

Рисунок 2.6 Удосконалена схема режимів роботи МП в умовах різних температур

Отже при плануванні роботи ТСЛС необхідне оперативне управління процесом вивантаження вантажів, що буде коригуватися згідно стану

навколишнього середовища. Структура управління ТСЛС МП вивантаження наведена на рис. 2.7.

Рисунок 2.7 – Структура управління ТСЛС вивантаження

Під час роботи ТСЛС МП здійснюється контроль за ходом виконання робіт та станом навколишнього середовища. При різкому перепаді температури повітря необхідне коригування оперативного управління процесом вивантаження вантажів. Методи управління процесом вивантаження вантажів потребують удосконалення. Більш детально описано у наступних розділах.

2.3 Постановка основних задач дослідження та визначення основних етапів моделювання ТСЛС

У дослідженні транспортно-складська система металургійного підприємства розглядається як складна система, що містить у своєму складі

підсистеми ТСЛС вивантаження та ТСЛС навантаження. На ефективність функціонування даної системи впливає значна кількість факторів.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності функціонування транспортно-складської системи металургійного підприємства шляхом розробки методів, які поєднують систему планування вантажної роботи та сучасні технології вантажопереробки.

Досягнення мети дослідження здійснюється за рахунок використання системного аналізу при формуванні завдань дослідження та при виборі методів їх вирішення. Об'єктом дослідження є транспортно-складські процеси логістичних систем металургійних підприємств, а предметом дослідження – залежності показників ефективності функціонування транспортно-складських систем металургійних підприємств від організації процесів доставки та вантажопереробки з урахуванням фактору змерзання вантажів.

Поставлена в дисертаційній роботі мета визначила наступні задачі дослідження:

1. Проаналізувати проблему організації роботи транспортно-складської системи виробничого рівня металургійних підприємств.

2. Формалізувати структуру транспортно-складської логістичної системи металургійних підприємств на основі системного підходу.

3. Удосконалити систему управління процесом розвантаження сировини за рахунок раціонального розподілу вагонів по пунктах вивантаження.

4. Розробити імітаційні моделі транспортно-складських підсистем металургійних підприємств для встановлення раціональних параметрів їх функціонування.

5. Удосконалити систему планування потрібної кількості власних вагонів для забезпечення процесу доставки вантажів в умовах змінних зовнішніх факторів шляхом уточнення розрахункового часу знаходження вагонів на під’їзній колії.

6. Визначити економічну доцільність від впровадження запропонованих заходів щодо підвищення ефективності функціонування ТСЛС МП.

При формалізації досліджуваних транспортно-складських логістичних систем було застосований метод системного аналізу.

Удосконалення системи розподілу вантажів на фронти вивантаження доцільно виконати за допомогою застосування динамічної транспортної задачі. Метод імітаційного моделювання буде використовуватися для побудови моделі функціонування ТСЛС вивантаження сировини на підприємстві та ТСЛС відвантаження готової продукції. Для встановлення законів розподілу вхідних параметрів моделі буде використано статистичний аналіз.

В ході розробки імітаційних моделей для встановлення їх вхідних параметрів необхідно виконати ймовірнісно-статистичний аналіз інтервалів находження сировини на підприємство та тривалості розвантаження вагонів на фронтах вивантаження. За допомогою регресійного аналізу треба побудувати регресійні залежності тривалості розігріву різних видів вантажу.

Удосконалення системи планування потрібної кількості вагонів можливе за допомогою регресійного аналізу, шляхом отримання регресійних залежностей тривалості розігріву різних видів вантажу на невеликих підприємствах.

В результаті системного аналізу встановлено, що транспортна складська логістична система підприємства складається із підсистем ТСЛС вивантаження і ТСЛС навантаження. Ці підсистеми тісно пов’язані між собою. Вагони з сировиною, що надходять підприємство, після їх вивантаження можуть передаватися під навантаження готовою продукцією. Таким чином підвищення ефективності ТСЛС МП в цілому передбачає розробку нових методів, моделей і алгоритмів окремих її підсистем. В ході системного аналізу встановлено узагальнюючий критерій ефективності – економічний, який враховує витрати на користування транспортними засобами в наведених підсистемах.

На рисунку 2.8 представлені основні етапи моделювання ТСЛС МП вивантаження та завантаження.

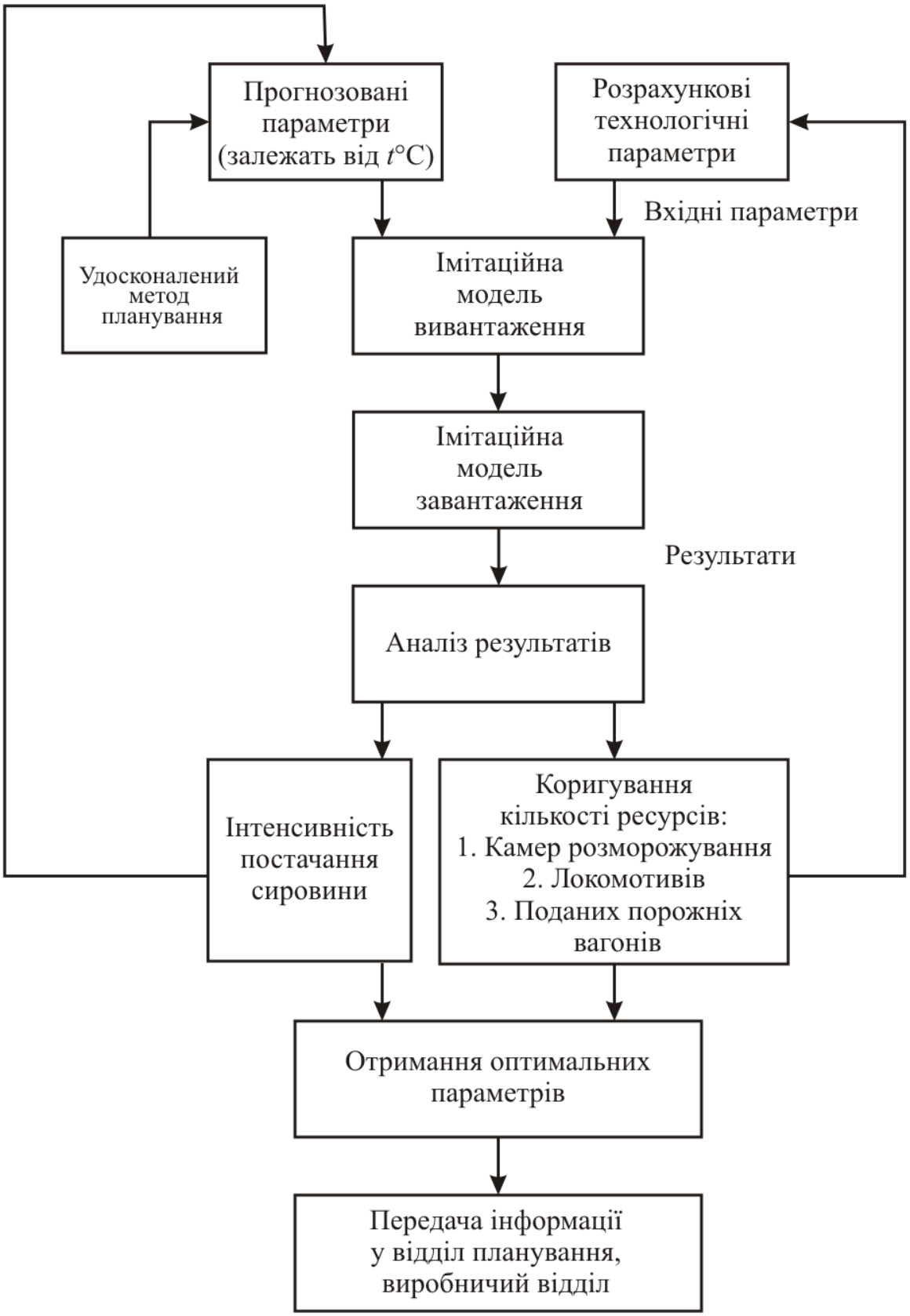

Рисунок 2.8 – Етапи моделювання ТСЛС МП вивантаження та завантаження

Для встановлення режиму функціонування ТСЛС МП необхідно задати параметри двох типів:

1) розрахункові технологічні параметри: температура повітря, t ºС; тривалість витягування вагонів з камери розігріву, $T_{вит}$; тривалість постановки вагонів у камери розігріву $T_{пост}$; тривалість доставки вагонів з камер розігріву до фронтів вивантаження $T_{дост}$; розподіл вантажів на фронти вивантаження $Q_i^{фронт}$; тривалість вивантаження вагонів на вантажних фронтах $T_{вивант}$.

2) прогнозовані параметри: тривалість розігріву вантажу $T_{розігр}$, інтервали вантажів, $I_{приб}$; обсяг сировини, що прибуває на підприємство $Q_{приб}$.

Значення цих параметрів визначаються за допомогою удосконаленого методу планування функціонування ТСЛС з урахуванням температури навколишнього середовища.

Наступним етапом необхідно розробити імітаційні моделі ТСЛС вивантаження і навантаження, які дозволять встановити раціональні параметри функціонування ТСЛС. Особливістю імітаційної моделі вивантаження є те, що режим її роботи залежить від потреби у відновленні сипких властивостей вантажу. Тому важливим вхідним параметром моделі виступає температура повітря.

При моделюванні ТСЛС навантаження необхідно врахувати режим роботи автотранспорту на ділянках відвантаження готової продукції, що може впливати на тривалість простою вагонів під завантаженням.

В залежності від отриманих результатів прогону імітаційних моделей коригується кількість локомотивів $n_{лок}$, кількість камер розігріву $n_{кам}$ та інтенсивність постачання сировини $Q_{приб}$ і модель запускається знову вже з новими вхідними параметрами.

В результаті моделювання можливо відстежувати кількість неопрацьованих замовлень, тобто вагонів з сировиною що не встигли розвантажитися за даний період. Великий відсоток таких замовлень свідчитиме про те, що при заданих параметрах ТСЛС вивантаження не справляється з таким обсягом постачань. Отже необхідно зменшити

надходження сировини на даний момент часу, відповідно запас на складі при цьому має збільшитися.

Прогони моделі здійснюються до моменту отримання такої кількості ресурсів, за якої простої вагонів будуть мінімальними.

Отримані в результаті моделювання раціональні параметри роботи ТСЛС вивантаження та завантаження передаються у відділ планування та виробничий відділ.

На основі вище сказаного з урахуванням критеріїв ефективності усіх процесів ТСЛС МП приведена цільова функція дослідження, яка передбачає зниження витрат на функціонування ТСЛС вивантаження ($С_{тслс}^{вивант}$) та ТСЛС навантаження ($С_{тслс}^{на\ вант}$).

$$Z = С_{тслс}^{вивант}(C_{пл} + C_{розігр} + C_{лок}) + \\ + С_{тслс}^{навант}(C_{ваг}^{вант} + C_{авто}^{вант} + C_{пер}) \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де $C_{пл}$ – витрати на плату за користування вагонами в ТСЛС вивантаження, грн.;

$C_{розігр}$ – витрати на розігрів вантажів, що змерзлися, грн;

$C_{лок}$ – витрати на експлуатацію локомотивів в ТСЛС вивантаження, грн;

$C_{ваг}^{вант}$ – витрати на плату за користування вагонами в ТСЛС навантаження, грн;

$C_{авто}^{вант}$ – вартість простоїв автопоїздів в ТСЛС навантаження, грн;

$C_{пер}$ – витрати на переміщення металопрокату, грн.

$$Z = C_{пл}^{вивант}(n_{под}, N_{ваг}, c_{ваг}, t_{пр}, n_{необр}) + C_{розігр}(q_{д.газ}, n_{кам}, c_{д.газ,} t_{розігр}) + \\ + C_{лок}(n_{лок}, c_{лок}, t_{лок}) + C_{ваг}^{навант}(t_{пр}^{ваг}, c_{в/г}) + \\ + C_{авто}^{навант}(t_{пр}^{авто}, c_{а/г}) + C_{пер}(p, Q_{річ}, c_{1т}) \rightarrow \min; \quad (2.2)$$

де $n_{под}$ – кількість подач, що надійшли з вантажем на підприємство, од.;

$N_{ваг}$ – кількість вагонів у подачі, од.;

$c_{ваг}$ – вартість вагоно-години, грн/год;

$t_{пр}$ – середній час користування вагоном, год;

$n_{необр}$ – частка необроблених вагонів,%;

$q_{д.газ}$ – витрата доменного газу на 1 камеру за годину, м^3/год;

$n_{кам}$ – кількість камер розігріву, що експлуатуються, од.;

$c_{д.газ}$ – вартість доменного газу для промислових підприємств, грн;

$t_{розігр}$ – тривалість роботи камер розігріву, год;

$n_{лок}$ – кількість локомотивів в експлуатації, од.;

$c_{лок}$ – вартість локомотиво-години, грн/год;

$t_{лок}$ – тривалість роботи локомотивів, год;

$t_{пр}^{ваг}$ – час простою вагона під завантаженням, год;

$t_{пр}^{авто}$ – час простою автопоїзда під завантаженням, год;

$c_{в/г}$ – вартість вагоно-години, грн;

$c_{а/г}$ – вартість автомобіле-години, грн;

p – частка автопоїздів, що завантажуються на віддаленій ділянці відвантаження, %;

$Q_{річ}$ – річний обсяг перевезень автомобільним транспортом, т;

$c_{1т}$ – вартість переміщення 1 тонни металопрокату на віддалену ділянку навантаження, грн.

На основі сформованої цільової функції в наступних розділах виконуються дослідження та розробляються методи і моделі щодо удосконалення функціонування ТСЛС МП.

2.4 Висновки по розділу 2

В даному розділі виконана формалізація транспортно-складської логістичної системи металургійних підприємств, результатами якої є такі положення:

1. Розглянуто транспортно-складську логістичну систему виробничого рівня з позицій системного аналізу, встановлено її основні властивості,

показники якості. В ході системного налізу встановлено узагальнюючий критерій ефективності – економічний, який враховує витрати на користування транспортними засобами. Також виділені такі критерії оцінки роботи системи як тривалість циклу роботи системи та критерій мінімуму часу знаходження вагонів на під'їзній колії під вантажними операціями.

2. Формалізація структури ТСЛС МП дозволила встановити, що досліджувана система складається із підсистем ТСЛС вивантаження і ТСЛС навантаження. Ці підсистеми тісно пов'язані між собою, тому підвищення ефективності ТСЛС МП в цілому передбачає розробку нових методів, моделей і алгоритмів окремих її підсистем.

3. Удосконалено схему режиму роботи металургійного підприємства в умовах змерзання вантажів, яка, на відміну від існуючої, що базується на створенні значних запасів сировини в теплий період року, спирається на ефективне планування роботи транспортно-складської логістичної системи при мінімальних запасах.

4. Встановлено етапи моделювання досліджуваної системи та сформовано цільову функцію дослідження з урахуванням критерію ефективності усіх процесів ТСЛС МП, яка передбачає зниження витрат на функціонування ТСЛС вивантаження та ТСЛС навантаження.

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ З ПЕРЕРОБКИ ВАНТАЖІВ, ЩО НАДХОДЯТЬ НА ПІДПРИЄМСТВО

3.1. Розробка методу оперативного коригування плану розподілу вантажів, що надходять на металургійне підприємство

Процес розвантаження вагонів залежить від стану навколишнього середовища. Виділимо звичайний режим роботи при позитивних показниках температури, та режим необхідності відновлення сипкості (для вантажів, які змерзаються) – при негативних показниках. В холодний період року для всієї території України характерні часті зміни температурних режимів, та, відповідно, режимів розвантаження вагонів. На рисунку 3.1 показаний характер температурних коливань у січні 2015 року у м. Запоріжжя (Україна).

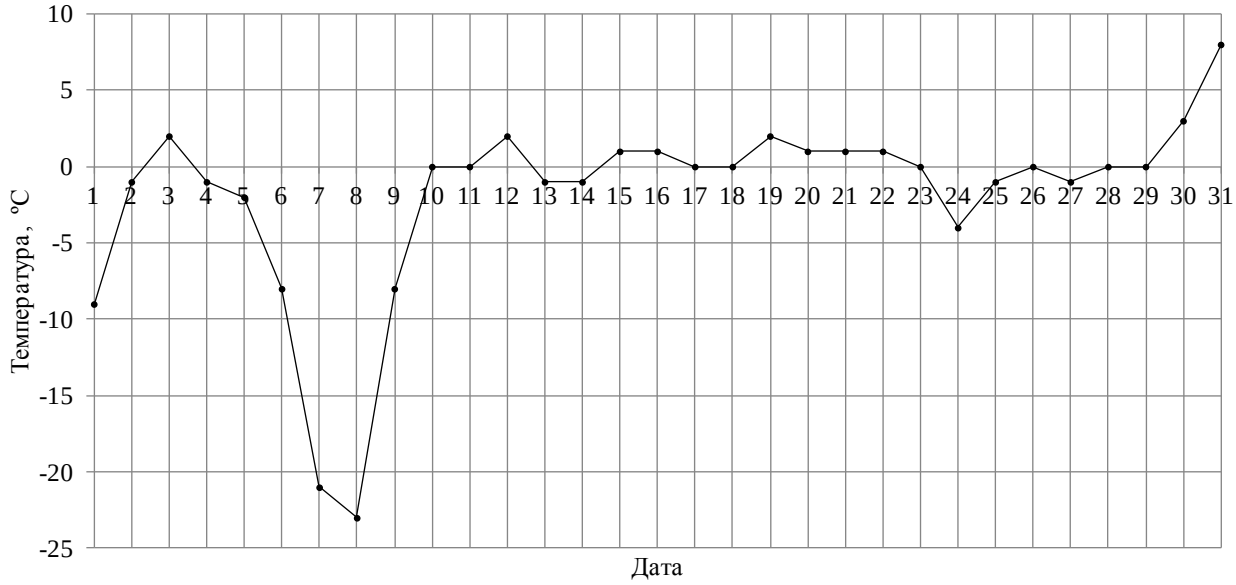

Рисунок 3.1 – Коливання температури повітря в зимовий період року по м. Запоріжжя

За таких умов при очікуванні переходу зі звичайного режиму до режиму

відновлення сипкості можлива оптимізація процесу розвантаження шляхом розподілу вагонів по вантажних пунктах за критерієм мінімального часу виконання вантажних операцій. Удосконалення ґрунтується на можливості вивантаження певних вантажів на декількох пунктах [86]. Сутність запропонованого методу оперативного коригування плану розподілу вхідних вантажопотоків розкрита на схемі організації функціонування процесів виконання вантажних робіт показана на рис. 3.2.

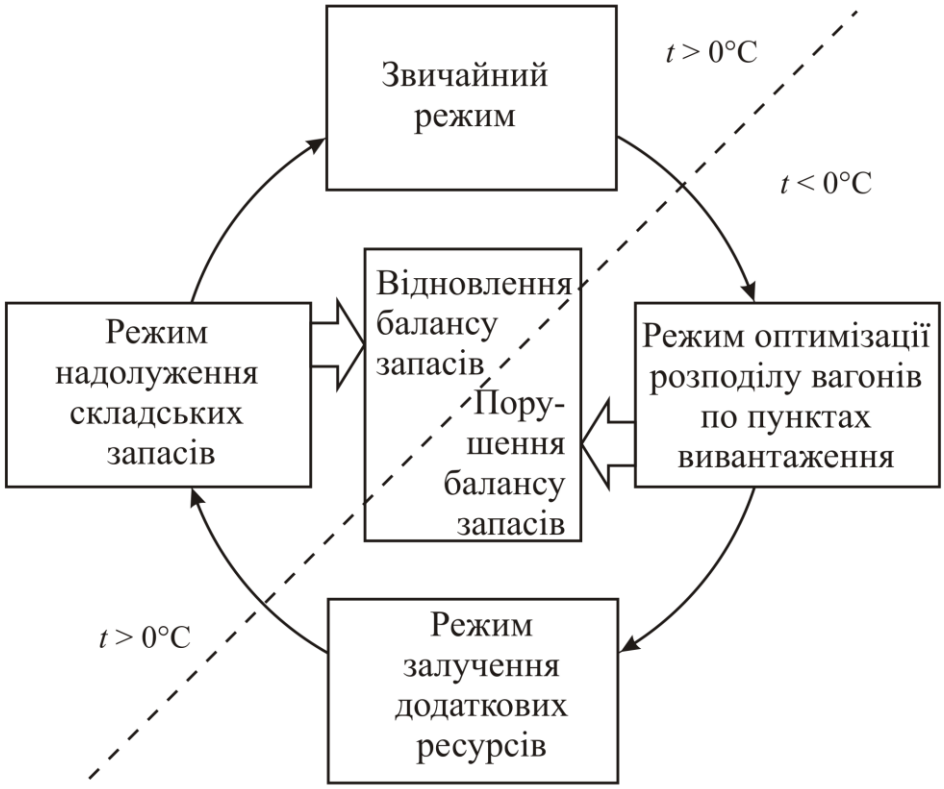

Рисунок 3.2 – Схема організації функціонування процесів виконання вантажних робіт в умовах зміни температурного режиму роботи

Розроблений метод оперативного коригування плану розподілу вантажів, що надходять на металургійне підприємство базується на зміні балансу розподілу вантажів по пунктах розвантаження. При від'ємних температурах повітря пропонується функціонування ТСЛС в режимі оптимізації розподілу вагонів по пунктах вивантаження. Вантажопотоки розподіляються з

урахуванням переробної спроможності вантажних фронтів таким чином, щоб звести до мінімуму час знаходження вагонів на під'їзних коліях, для цього залучаються додаткові ресурси. Проте, за такого режиму роботи дещо порушується плановий баланс складських запасів цих вантажів. Його можна відновити при покращенні температурних умов та повернення до звичайного режиму роботи.

3.1.1 Режим удосконалення процесу розподілу вагонів за пунктами вивантаження

Для вдосконалення процесу розвантаження шляхом коригування планового розподілу вагонів за вантажними фронтами можна скористатись новою процедурою, яка базується на традиційних методах розв'язання транспортної задачі. Класична транспортна задача лінійного програмування передбачає знаходження найбільш економічного плану перевезень вантажів від пунктів виробництва до пунктів споживання [87]. В даному випадку замість пунктів виробництва розглядаються різні види вантажів, а пунктами споживання виступають вантажні фронти. Необхідно розподілити різні види вантажів між фронтами вивантаження таким чином, щоб простій вагонів під вантажними операціями був мінімальним.

Нехай є m видів вантажів що надходять на підприємство $a_1, a_2, \ldots, a_m$ у кількості $A_1, A_2, \ldots, A_m$ одиниць. Ці вантажі можуть розподілятися на n фронтів вивантаження $b_1, b_2, \ldots, b_n$, які мають потребу у вантажі об'ємом $B_1, B_2, \ldots, B_n$ одиниць. При цьому деякі з видів вантажів a можуть надходити лише на визначені фронти вивантаження b. Кожен вантажний фронт має свою продуктивність залежно від виду вантажу, що на нього надходить. Залежно від можливостей вантажного фронту загальний об'єм вантажу розбивається на окремі подачі. Кількість подач p буде приймати значення від 1 до k.

Об'єм усіх вантажів, що відправляється на фронти вивантаження за k-подач повинен бути рівний загальному обсягу вантажів, що надійшли на

підприємство. Об'єм вантажів, що надходить на фронти вивантаження за *k*-подач, повинен дорівнювати відповідним потребам у вантажі. Об'єм надходження вантажу має бути невід'ємним числом. Загальний простій вагонів під вантажними операціями повинен бути мінімальним.

Отже отримаємо динамічну транспортну задачу, математична постановка якої має вигляд:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{t=1}^{k} z_{ij}^{\,p} \cdot x_{ij}^{\,p} \to \min \qquad (3.1)$$

При обмеженнях:

$$x_{ij}^{\,p} \geq 0,\ i = 1, 2, ..., m;\ j = 1,2,..., n;\ p = 1, 2, \ldots, k;$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{p=1}^{k} x_{ij}^{\,p} = \sum_{i=1}^{m} A_i,\ j = 1,2,..., n;\ p = 1, 2, \ldots, k;$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{p=1}^{k} x_{ij}^{\,p} = \sum_{j=1}^{n} B_j^{\,p},\ i = 1, 2, ..., m;\ j = 1,2,..., n;\ p = 1, 2, \ldots, k.$$

де A_i, $i \in I$ – об'єм i-го вантажу, що надходить на підприємство, вагони;

B_j^p, $j \in J$, $p \in P$ – об'єм вантажу, що надходить на j-ий фронт вивантаження підприємства при p-ій подачі, вагони;

B_j – розмір максимальної подачі на j-й вантажний фронт, вагони;

$z_{ij}^{\,p}$ – тривалість обслуговування p-ої подачі при надходженні i-го вантажу на j-й вантажний фронт, год;

$x_{ij}^{\,p}$ – об'єм надходження i-вантажу на j-вантажний фронт при p-подачі, вагони;

$i \in I = \{ 1, 2, \ldots, m \}$, множина індексів виду вантажу;

$j \in J = \{ 1, 2, \ldots, n \}$, множина індексів фронтів розвантаження;

$p \in P = \{ 1, 2, \ldots, k \}$; множина індексів номеру подачі.

Графічне зображення даної транспортної задачі наведене на рис. 3.3.

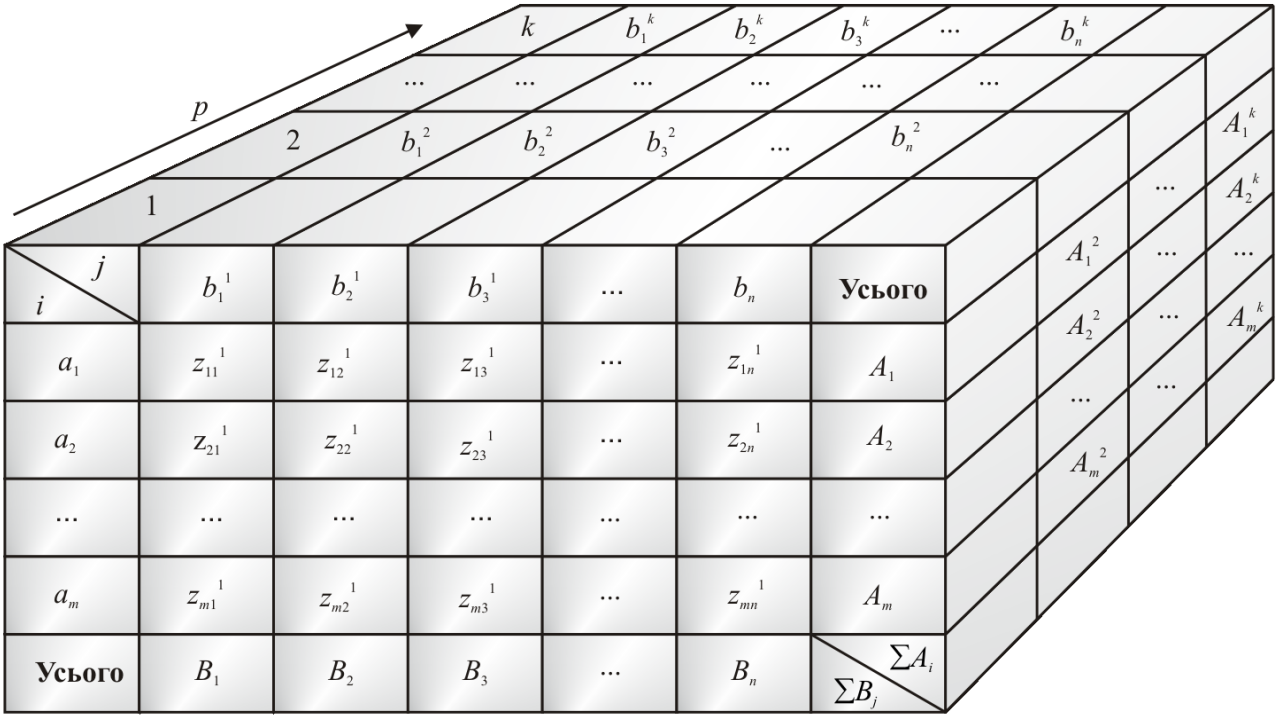

Рисунок 3.3 – Загальний вигляд транспортної задачі при врахуванні номеру подачі

Проблема розв’язку такої задачі полягає в тому, що на металургійних підприємствах з безперервним виробництвом продукції постачання сировини відбувається постійно й визначити необхідну кількість подач доволі складно, а в деяких випадках неможливо. Тому пропонується розглядати транспортну задачу за блоками, окремо для кожної нової подачі вагонів, з урахуванням можливостей вантажного фронту на момент надходження подачі на фронт вивантаження.

У такому разі кожен блок становить собою транспортну задачу для окремого пакету подач, опорний план якої випливає з оптимального плану попереднього розподілу. Таким чином динамічну стохастичну задачу можна звести до комплексу взаємозалежних статичних детермінованих задач.

3.1.2 Удосконалення процесу розподілу вагонів для залізничних цехів підприємств

При розподілі вантажів для залізничних цехів підприємств кількість подач вагонів *p* на визначений фронт може бути визначена заздалегідь, тому динамічну транспортну задачу (рис 3.3) можемо представити у більш спрощеному вигляді.

Для цього стовпці «Вантажні фронти» розбиваємо на додаткові стовбці, кількість яких визначається кількістю подач на кожен вантажний фронт. По кожному з фронтів визначаємо добову кількість можливих подач за формулою (3.2):

$$N = \left\lceil \frac{A_i}{B_j} \right\rceil, \tag{3.2}$$

де A_i – об'єм *i*-вантажу, що надходить за добу, вагони;

B_j – розмір максимальної подачі на *j*-вантажний фронт, вагони.

Необхідно враховувати, що остання подача в більшості випадків буде «неповною», тому знаходимо її розмір за формулою (3.3):

$$B_j^{\text{ост}} = A_i - B_j\left(N-1\right). \tag{3.3}$$

Для першого пакету подач значення z_{ij}^{1} приймаємо:

$$z_{ij}^{1} = t_{ij}^{\text{вант}},$$

де $t_{ij}^{\text{вант}}$ – нормативний час на вивантаження одного вагону *i*-го виду вантажу на *j*-му вантажному фронті.

При наступному надходженні вантажів враховуємо час, затрачений на вивантаження вагонів першої подачі:

$$z_{ij}^{\ 2} = t_{ij}^{\text{вант}} + t_{ij}^{\text{вант}} \cdot B_j .$$

Аналогічно можемо розрахувати значення $z_{ij}^{\ p}$ для будь-якої кількості подач (3.4):

$$z_{ij}^{\ p} = t_{ij}^{\text{вант}} \left(1 + B_j \left(N - 1\right)\right). \qquad (3.4)$$

Загальний вигляд транспортної задачі з урахуванням кількості подач для невеликих підприємств наведена у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Розподіл вантажів для залізничних цехів підприємств

Вант. фронти	b_1				b_2				…	b_n				
Вантажі	$b_1^{\ 1}$	$b_1^{\ 2}$	…	$b_1^{\ k}$	$b_2^{\ 1}$	$b_2^{\ 2}$	…	$b_2^{\ k}$		$b_n^{\ 1}$	$b_n^{\ 2}$	…	$b_n^{\ k}$	
a_1	$z_{11}^{\ 1}$	$z_{11}^{\ 2}$	…	$z_{11}^{\ k}$	$z_{12}^{\ 1}$	$z_{12}^{\ 2}$	…	$z_{12}^{\ k}$		$z_{1n}^{\ 1}$	$z_{1n}^{\ 2}$	…	$z_{1n}^{\ k}$	A_1
a_2	$z_{21}^{\ 1}$	$z_{21}^{\ 2}$	…	$z_{21}^{\ k}$	$z_{21}^{\ 1}$	$z_{22}^{\ 2}$	…	$z_{22}^{\ k}$		$z_{2\,n}^{\ 1}$	$z_{2n}^{\ 2}$	…	$z_{2n}^{\ k}$	A_2
…			…				…					…		…
a_m	$z_{m1}^{\ 1}$	$z_{m1}^{\ 2}$		$z_{m1}^{\ k}$	$z_{m2}^{\ 1}$	$z_{m2}^{\ 2}$		$z_{m2}^{\ k}$		$z_{mn}^{\ 1}$	$z_{mn}^{\ 2}$		$z_{mn}^{\ k}$	A_m
	B_1	B_1	…	$B_1^{\text{ост}}$	B_2	B_2	…	$B_2^{\text{ост}}$		B_n	B_n	…	$B_n^{\text{ост}}$	
	$B_1\,(N-1) + B_1^{\text{ост}}$				$B_2\,(N-1) + B_2^{\text{ост}}$				…	$B_n\,(N-1) + B_n^{\text{ост}}$				

На відміну від класичної транспортної задачі, при застосуванні даної процедури вантажі розподіляються не всі одразу, а порційно. Оперативний розподіл кожної подачі вагонів виконується з урахуванням можливостей вантажного фронту в момент надходження визначеної подачі. Таким чином можна уникнути надходження нової подачі на вантажний фронт, де ще триває розвантаження попередньої подачі.

Також враховується той момент, що один вид вантажу може направлятися до різних вантажних фронтів. Доцільно направити їх на ті фронти, які в момент розподілу вільні, або звільняться найближчим часом. Це дозволяє уникнути додаткових простоїв вагонів та більш ефективно

організувати роботу вантажних фронтів металургійного підприємства.

3.1.3 Удосконалення процесу розподілу вагонів для управлінь залізничного транспорту підприємств

На великих підприємствах для безперервного виробництва продукції необхідне постійне постачання сировини. Ці підприємства мають більш складні транспортні системи, тому заздалегідь визначити необхідну кількість подач доволі складно, а в деяких випадках неможливо.

Для таких випадків пропонується транспортна задача, що складається з *p*-кількості блоків, які залежать один від одного. Кожен блок представляє собою транспортну задачу для окремого пакету подач. Вихідними даними для першого пакету подач є об'єми вантажів що надходять за розрахунковий період часу, максимальний розмір подачі на кожний фронт вивантаження та час, необхідний на вивантаження одного вагона відповідно до переробної спроможності кожного фронту.

Значення A_i приймаємо рівним загальній кількості вагонів з визначеним вантажем, що надійшли на підприємство. Оскільки значення B_j приймається за кількість вагонів в одній подачі, то очевидно, що сума A_i буде значно перевищувати суму B_j, отже наведена транспортна задача є відкритою. В отриманому оптимальному плані для першого пакета подач не весь вантаж буде вивантажений на фронтах. Для наступного пакета подач значення A_i буде рівним кількості вагонів, що залишилися після попередньої подачі і т.д. доки весь вантаж не буде розподілений за вантажними фронтами.

Значення z_{ij}^{1} для першого пакету подач приймаємо рівним тривалості розвантаження одного вагона певного вантажу на відповідному фронті. Для всіх наступних пакетів подач значення z_{ij}^{p} знаходимо за формулою (3.5):

$$z_{ij}^{p} = t_{ij}^{\text{вант}} + t_{ij}^{\text{вант}} \cdot B_j^{1} + t_{ij}^{\text{вант}} \cdot B_j^{2} + \ldots + t_{ij}^{\text{вант}} \cdot B_j^{k}. \qquad (3.5)$$

У результаті отримаємо транспортну задачу загальний вигляд якої зображено на рис. 3.4.

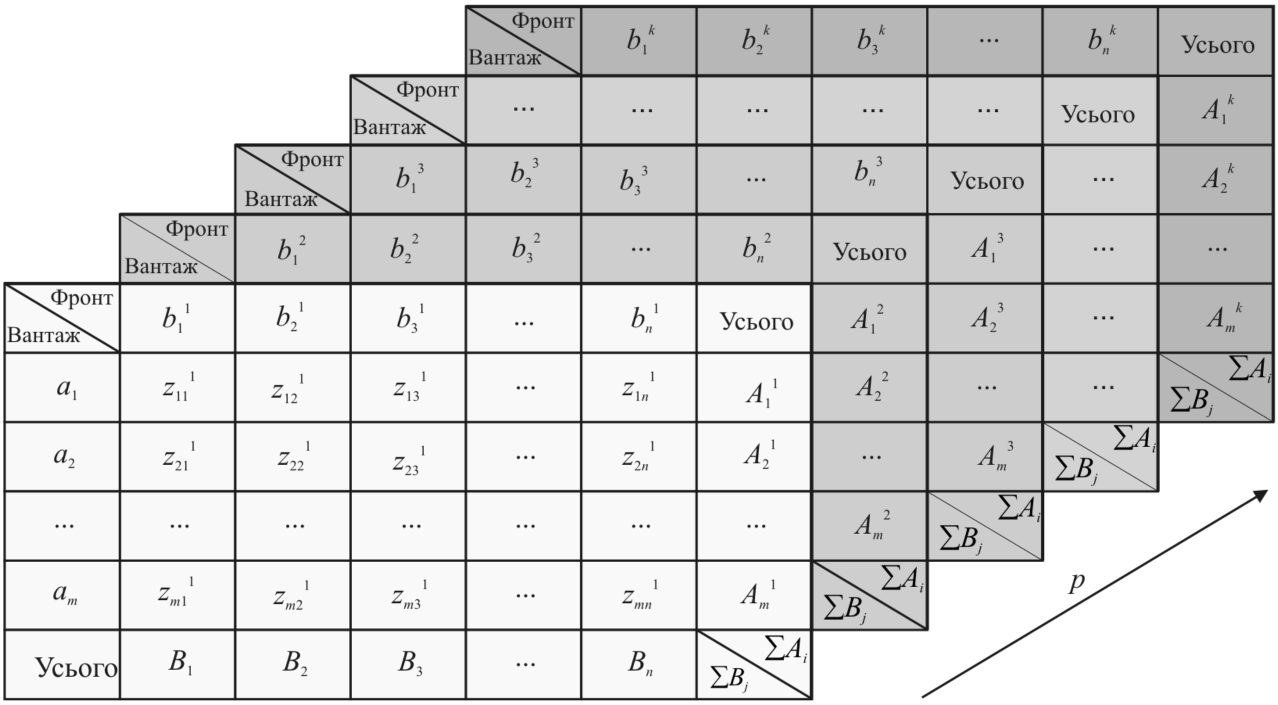

Рисунок 3.4 – Загальний вигляд транспортної задачі для транспортних систем металургійних підприємств з безперервним виробництвом

3.4 Практична реалізація процедури удосконалення процесу розподілу вагонів

Розглянемо застосування даного методу розв'язання транспортної задачі на прикладі базового підприємства комбінату Запоріжсталь.

Основні вантажі, що змерзаються надходять на 5 основних фронтів вивантаження. При чому деякі з них можуть вивантажуватися тільки на одному фронті (руда та вугілля), в той час як інші розподіляються на декілька фронтів. У таблиці 3.2 наведені фактичні об'єми надходжень вантажів за добу у вагонах.

Таблиця 3.2 – Фактичне надходження вантажів на вантажні фронти за добу

Вантаж	Фронт розвантаження					Усього
	Бункери к2	Бункери к4	Рудна	Вугільна	Підбіркова	
Руда	0	0	137	0	0	137
Вугілля	0	0	1	16	0	17
Вапняк НВ	0	0	0	0	23	23
Вапняк ХП	0	15	0	0	22	37
Кокс	72	0	2	0	0	74
Усього	72	15	141	16	45	288

Кожен з вантажних фронтів має різну продуктивність. Тривалість вивантаження на певному фронті залежить від виду вантажу, що на нього надходить. Також необхідно урахувати, що деякі з вантажів повинні надходити тільки на визначені фронти. Необхідно мінімізувати витрати часу на вивантаження сировини. Вихідну таблицю транспортної задачі можемо надати у такому вигляді:

Таблиця 3.3 – Вихідна таблиця транспортної задачі надходження вантажів, що змерзаються на металургійне підприємство

Вантаж	Фронт розвантаження					Усього
	Бункери к2	Бункери к4	Рудна	Вугільна	Підбір-кова	
Руда	–	–	0,06	–	–	137
Вугілля	–	–	0,06	0,06	–	17
Вапняк НВ	–	–	–	–	0,32	23
Вапняк ХП	–	0,07	–	–	0,07	37
Кокс	0,43	–	0,06	–	–	74
Усього	9	9	15	14	9	288
	56					

Оскільки сума запасів (об’єми надходження вантажів) не дорівнює сумі потреб (розмір подач на вантажні фронти), то отримана транспортна задача є відкритою. Для розв’язку задачі необхідно привести її до закритого виду. Для цього вводимо фіктивного споживача (вантажний фронт) на надлишковий об’єм вантажу.

Для знаходження оптимального плану був використаний метод потенціалів. Отриманий оптимальній план розподілу вантажів першого пакету подач по вантажним фронтам наведений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Оптимальний план для першого пакету подач

	Бункери к2	Бункери к4	Рудна	Вугільна	Підбіркова	Залишок	Всього
Руда			0,06 [15]			122	137
Вугілля			0,06	0,06 [14]		3	17
Вапняк НВ					0,32	23	23
Вапняк ХП		0,07 [9]			0,07 [9]	19	37
Кокс	0,43 [9]		0,06			65	74
Всього	9	9	15	14	9	232	288

Згідно отриманого оптимального плану розподілу вантажів першого пакету подач за вантажними фронтами:

– парк «Бункери» колія №2 – 9 вагонів коксу (0,43 год. / вагон);

– парк «Бункери» колія №4 – 9 хоперів вапняку (0,07 год. / вагон);

– станція Рудна – 15 вагонів руди (0,06 год. / вагон);

– станція Вугільна – 14 вагонів вугілля (0,06 год. / вагон);

– станція Підбіркова – 9 хоперів вапняку (0,07 год. / вагон).

Мінімальні витрати часу на вивантаження першого пакету подач складуть:

$$F(x) = 0{,}06 \cdot 15 + 0{,}06 \cdot 14 + 0{,}07 \cdot 9 + 0{,}07 \cdot 9 + 0{,}43 \cdot 9 = 6{,}87 \text{ год.}$$

Як бачимо, за даним оптимальним планом розподілено не весь вантаж. Отже залишок вантажу переносимо до наступної транспортної задачі другого пакету подач як значення A_i (рис. 3.5).

Вихідна таблиця транспортної задачі для другого пакету подач

Фронт / Вантаж	Бункери к2	Бункери к4	Рудна	Вугільна	Підбіркова	**Усього**
Руда		(0,06+0,06·15)	0,96			122

Фронт / Вантаж	Бункери к2	Бункери к4	Рудна	Вугільна	Підбіркова	Залишок	**Усього**
Руда			0,06 [15]			122	137
Вугілля				0,06 [14]		3	17
Вапняк НВ						23	23
Вапняк ХП		0,07 [9]			0,07 [9]	19	37
Кокс	0,43 [9]					65	74
Усього	9	9	15	14	9	232	288

3
23
19
65
232

Оптимальний план розподілу вантажів по фронтам першого пакету подач

Рисунок 3.5 – Розрахунок даних та побудова вихідної таблиці для транспортної задачі другого пакету подач

Аналогічно розподіляємо усі наступні пакети подач до тих пір, поки усі вантажі будуть вивантажені на вантажних фронтах. Отриманий розподіл подач вантажів на фронти вивантаження наведено у табл. 3.5 та рис. 3.6.

Таблиця 3.5 – Підсумковий оптимальний розподіл вантажів по вантажним фронтам

№ подачі	Фронт вивантаження					
	Бункери к2	Бункери к4	Рудна	Вугільна	Подборочна	
Вантаж	Кокс	Вапняк ХП	Руда	Вугілля	Вапняк ХП	Вапняк НВ
1	9	9	15	14	9	0
2	9	9	15	3	9	0
3	9	1	15	0	0	9
4	9	0	15	0	0	9
5	9	0	15	0	0	5
6	9	0	15	0	0	0
7	9	0	15	0	0	0
8	9	0	15	0	0	0
9	2	0	15	0	0	0
10	0	0	2	0	0	0
Всього	74	19	137	17	18	23

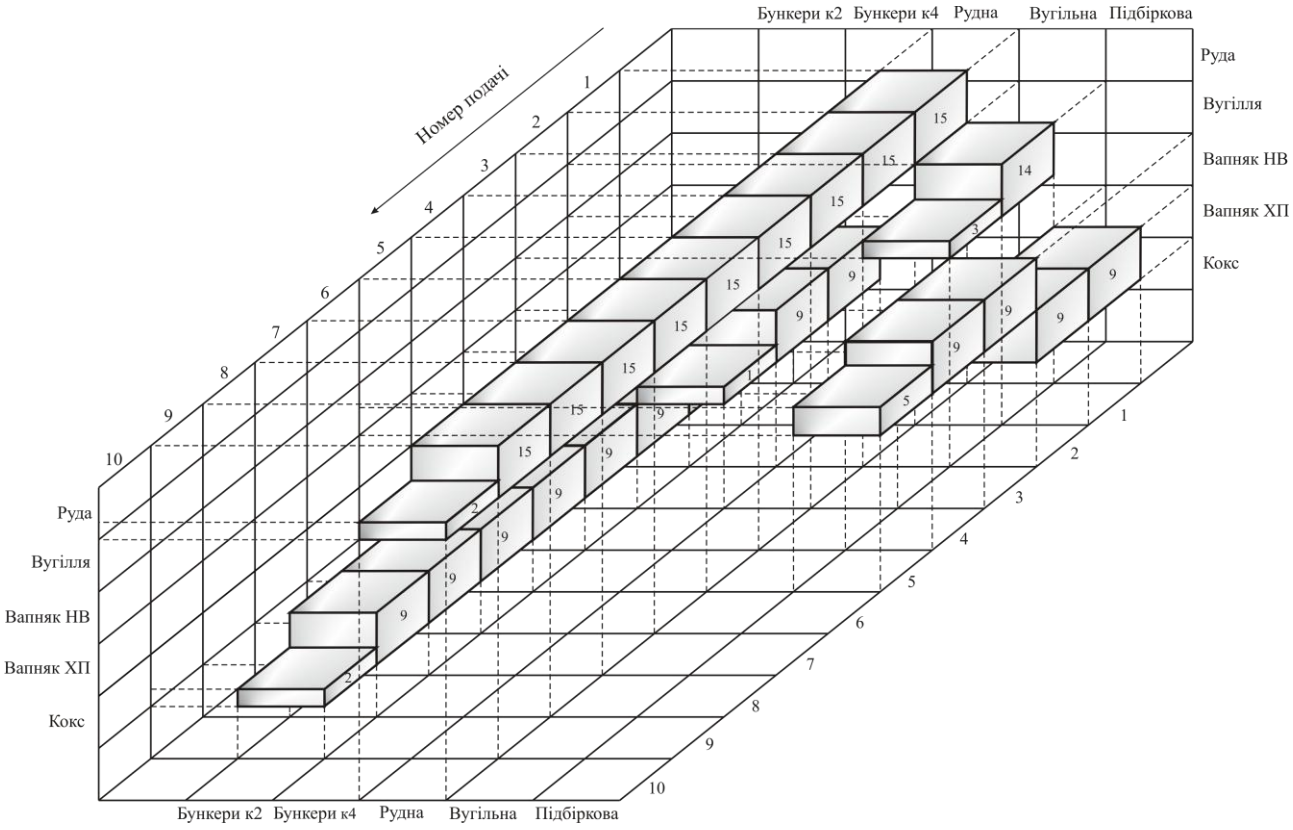

Рисунок 3.6 – Графічна інтерпретація оптимального розподілу подач

В результаті розв’язку динамічної транспортної задачі був отриманий оптимальний розподіл подач вантажів на фронти вивантаження:

– на станцію Аглофабрика парк «Бункери» колія №2 необхідно направити 9 подач коксу (з них 8 подач по 9 вагонів і 1 подача – 2 вагона);

– на станцію Аглофабрика парк «Бункери» колія №4 приходить 3 подачі вапняку у хоперах (з них 2 подачі по 9 вагонів і 1 подача – 1 вагон);

– на станцію Рудна надійде 10 подач руди (з них 9 подач по 15 вагонів і 1 подача на 2 вагона);

– станція вугільна прийме 2 подачі вугілля (на 14 вагонів та на 3 вагона);

– на станцію Підбіркову надійде 2 подачі вапняку у хоперах (по 9 вагонів у кожній) та 3 подачі вапняку у напіввагонах (2 подачі по 9 вагонів та 1 на 5 вагонів).

За рахунок скоригованого розподілу вантажів простій вагонів скоротився на кожному фронті вивантаження: «Бункери» колія №2 на 0,55 год, «Бункери» колія №4 – 2,82 год; Рудна – 0,09 год; Вугільна – 0,44 год; Підбіркова – 0,87 год.

Середня тривалість простоїв вагонів скоротилася на 0,46 год на один вагон за добу, також значно знизилася кількість подач на фронти вивантаження, при цьому кількість оброблених вагонів залишилася незмінною. При такому варіанті роботи ТСЛС потужності вантажних фронтів використовуються більш раціонально, що дозволяє підвищити ефективність функціонування системи в умовах різкої зміни температурних показників на негативні.

3.5 Висновки до розділу 3

1. Для удосконалення системи управління розвантаження сировини розроблено метод оперативного коригування плану розподілу вантажів, що надходять на металургійне підприємство, який полягає в тому, що в холодний період року розподіл кожної подачі вагонів виконується з урахуванням можливостей вантажного фронту на момент надходження визначеної подачі.

Це дозволяє уникнути додаткових простоїв вагонів та більш ефективно організувати роботу вантажних фронтів.

2. Формалізовано задачу розподілу вагонів для залізничних цехів підприємств та управлінь залізничного транспорту як динамічну транспортну задачу, що дозволяє враховувати переробну спроможність вантажних фронтів на момент надходження кожної подачі вагонів.

3. Запропоновано процедуру удосконалення процесу розподілу вагонів для управлінь залізничного транспорту підприємств, яка передбачає розв'язок динамічної транспортної задачі в новій постановці. Даний підхід передбачає розв'язок транспортної задачі за блоками для кожного пакету подач. Кожен блок представляє собою транспортну задачу для окремого пакету подач, опорний план якої випливає з оптимального плану попереднього розподілу.

4. Пропонований метод коригування плану розподілу вантажів було застосовано на прикладі базового підприємства. За рахунок скоригованого розподілу вантажів середня тривалість простоїв вагонів скоротилася на 0,46 год на один вагон за добу, також значно знизилася кількість подач на фронти вивантаження, при цьому кількість оброблених вагонів залишилася незмінною. При такому варіанті роботи ТСЛС потужності вантажних фронтів використовуються більш раціонально, що дозволяє підвищити ефективність функціонування системи в умовах різкої зміни температурних показників на негативні.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Кожна модель або представлення об’єкта засобами, відмінними від його реального змісту є формою імітації. Імітаційне моделювання є досить широким і недостатньо вираженим поняттям [88]. Воно дає можливість експериментувати з системами у тих випадках, коли зробити це на реальному об’єкті неможливо або недоцільно. Імітаційне моделювання є одним з найефективніших методів дослідження систем та кількісної оцінки характеристик їх функціонування.

При імітаційному моделюванні динамічні процеси об’єкту заміняються процесами, що імітуються в абстрактній моделі, але з дотриманням алгоритмів функціонування оригінала. Імітаційне моделювання дозволяє розглядати процеси, що відбуваються в системі практично на будь-якому рівні деталізації. В імітаційній моделі можна реалізувати будь-який алгоритм поведінки системи. Все це служить причиною того, що імітаційні методи моделювання на сучасному етапі стають основними методами дослідження складних систем.

Суть імітаційного моделювання полягає в наступному:

– відтворення з необхідною достовірністю поведінки окремих елементів системи в процесі реалізації нею функції системи;

– накопичення статистичних даних про поведінку елементів;

– статистична обробка цих даних для отримання статистичних оцінок кількісних характеристик законів розподілу оцінюваних показників ефективності.

Процес створення моделей проходить декілька стадій. Він починається з вивчення реальної системи, її внутрішньої структури та взаємозв’язків між її елементами, а також зовнішніх впливів і завершується розробкою моделі.

В загальному плані імітаційне моделювання передбачає такі етапи як

розробка концептуальної моделі; підготовка вихідних даних; вибір засобів моделювання; розробка програмної моделі; перевірка адекватності та коригування моделі; планування машинних експериментів; моделювання («прогони»); аналіз результатів моделювання.

Для одного й того ж об’єкту можна скласти безліч моделей. Вони будуть відрізнятися ступенем деталізації і врахування тих чи інших особливостей режимів функціонування об’єкту. Тому усі етапи імітаційного моделювання пронизані заздалегідь сформульованою метою дослідження.

4.1 Моделювання ТСЛС вивантаження вантажів, що надходять на металургійне підприємство

4.1.1 Розробка концептуальної моделі ТСЛС з приймання сировини

Важливим етапом моделювання є розробка концептуальної моделі. На цьому етапі відбувається структуризація моделі, тобто виділення окремих підсистем визначення елементарних компонентів моделі та їх зв’язків на кожному рівні ієрархії. Елементи системи, їх зв'язку, параметри і змінні, а також їх співвідношення і закони їх зміни повинні бути виражені засобами середовища моделювання, тобто в цьому середовищі повинні бути визначені змінні і параметри моделі, побудовані процедури обчислення зміни змінних і характеристик моделі в часі [88].

На прикладі базового підприємства комбінату «Запоріжсталь» була розроблена концептуальна модель транспортно-складських процесів з приймання сировини на металургійному підприємстві (рис. 4.1)

Концептуальна модель ТСЛС містить у собі три основні блоки. У першому блоці відображається процес надходження вантажів на металургійне підприємство. Кожен вид вантажу необхідно генерувати незалежно один від одного, оскільки вони мають різну тривалість розігріву. Також це полегшить подальше розподілення вантажу на фронти вивантаження.

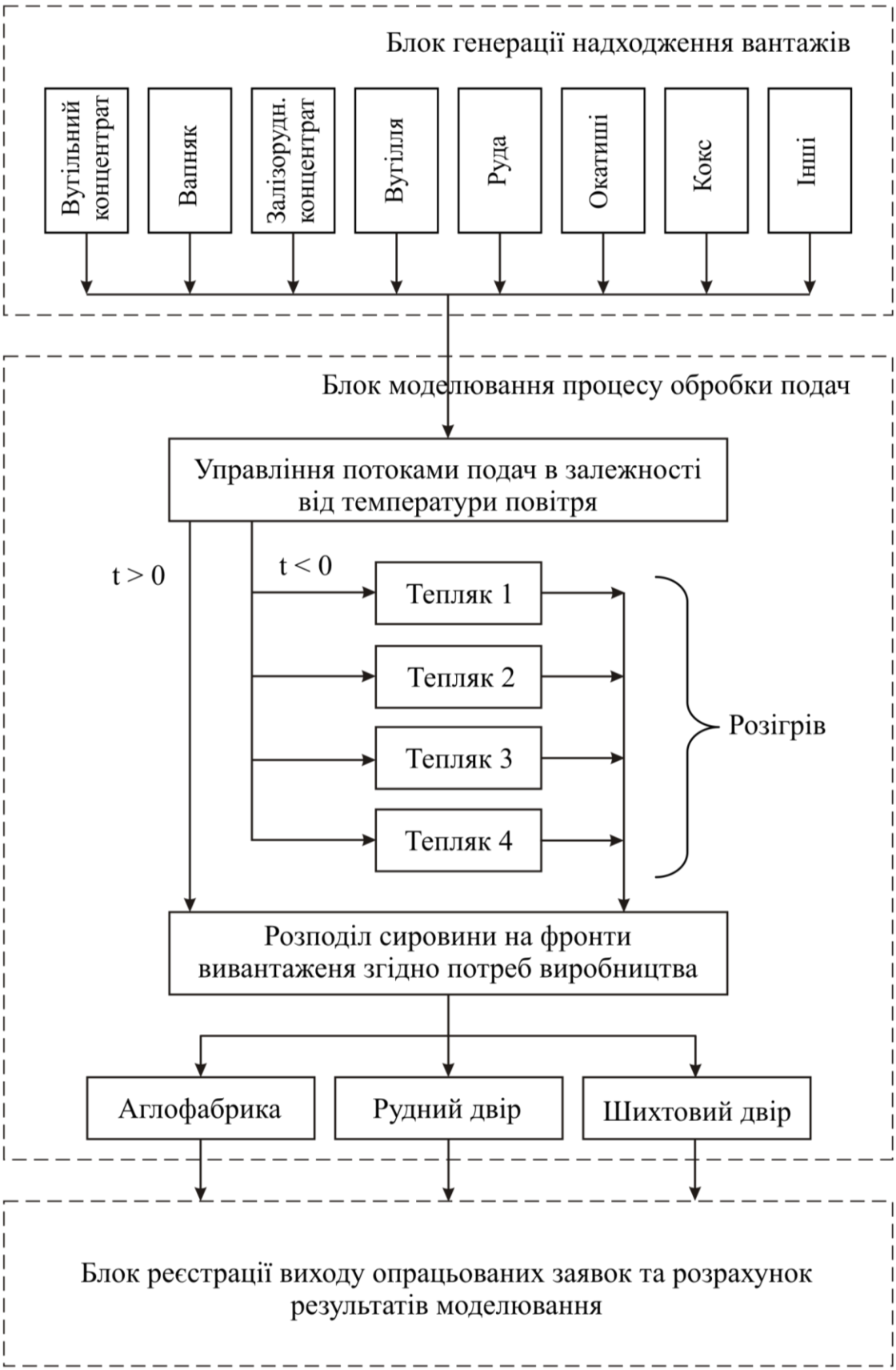

Рисунок 4.1 – Концептуальна модель транспортно-складських процесів з приймання сировини на металургійному підприємстві

В основному блоці концептуальної моделі відтворюється сам процес обробки подач з вантажами. При потребі розігріву вантажу подачі надсилаються до тепляків, а потім залежно від потреб виробництва розподіляються на фронти вивантаження. Управління потоками подач здійснюється з урахуванням температури повітря навколишнього середовища.

Останній блок відповідає за збирання інформації по опрацьованим заявкам. Зібрані дані аналізуються за допомогою статистичних інструментів, на основі чого розраховуються результати моделювання.

Концептуальна модель транспортно-складських процесів з приймання сировини на металургійному підприємстві наведена на рисунку 4.2.

Після розробки концептуальної моделі, фіксації рівня абстракції і опису логіки управління необхідна її реалізація в середовищі моделювання. Сучасні засоби імітаційного моделювання дозволяють також реалізувати анімаційне представлення моделі [89]. Анімація дозволяє уникнути можливих помилок дослідника та сприяє перевірці коректності моделі, тобто переконатись в коректному відображенні процесів реальної системи.

4.1.2 Визначення вхідних параметрів імітаційної моделі

Основними вхідними параметрами розроблюваної імітаційної моделі ТСЛС вивантаження виступають такі:

- температура повітря, t ºС;
- інтервали надходження вантажів, $I_{\text{приб}}$;
- тривалість розігріву вантажу $T_{\text{розігр}}$;
- тривалість витягування вагонів з камери розігріву, $T_{\text{вит}}$;
- тривалість постановки вагонів у камери розігріву $T_{\text{пост}}$;
- тривалість доставки вагонів з камер розігріву до фронтів вивантаження $T_{\text{дост}}$
- розподіл вантажів на фронти вивантаження $Q_i^{\text{фронт}}$;
- тривалість вивантаження вагонів на вантажних фронтах $T_{\text{вивант}}$.

Оскільки розглядається холодний період року, то ключовим вхідним показником моделі ТСЛС вивантаження є температура повітря. Саме від цього параметру залежить подальша процедура моделювання транспортно-складських процесів МП. За даними метеорологів виправданість прогнозу температури повітря найбільш точна на 1-5 добу (на першу добу складає 97% , на другу добу 95%, на третю - 91%, на четверту – 89%, на п’яту – 86%) [90, 91]. Керуючись цими даними встановлюємо тривалість експерименту – 5 діб. Дані температури повітря за січень 2015 року наведені у додатку Б.

Інтервали надходження вантажів. Для визначення інтервалів надходження сировини на підприємство було проведено статистичний аналіз інтервалів та встановлено закони розподілу для кожного виду вантажу. Вибірки даних, що використовувались для аналізу наведені в додатку А. Результати статистичного аналізу інтервалів надходження різних видів вантажу на підприємство відображені у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати статистичного аналізу інтервалів надходження різних видів вантажу на підприємство

Вантаж	Середнє значення	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації	Закон розподілу
Концентрат залізорудний	8,98	6,09	67,81	Гамма
Руда	10,64	6,73	63,25	Гамма
Вапняк	8,54	6,11	71,52	Гамма
Вугільний концентрат	30,45	25,91	85,09	Експоненційний
Вугілля	15,78	11,73	74,31	Експоненційний
Кокс	9,03	6,55	72,48	Експоненційний
Окатиші	26,82	14,52	54,12	Гамма
Інші	21,96	14,29	65,06	Гамма

В результаті статистичного аналізу встановлено, що інтервали надходження основних видів вантажів на підприємство підпорядковуються експоненціальному (вугільний концентрат, вугілля та кокс) та гамма-

розподілу (концентрат залізорудний, руда, вапняк, окатиші та інші).

Тривалість розігріву вантажів. Тривалість розігріву вантажів залежить від багатьох факторів: середньодобової температури повітря, тривалості транспортування, міцності змерзання вантажу, вологості вантажу і т.д. Температура навколишнього середовища є основним фактором, що впливає на тривалість розморожування сировини в тепляках. Але при транспортуванні вантажу, особливо на великі відстані, температура повітря може змінюватися в дорозі. Якщо сировина вантажиться при теплій погоді, в процесі транспортування набирає або утримує вологу, спресовується і прибуває в регіон, де в цей час вже морози, то в результаті отримаємо змерзлий вантаж, що потребує розігріву. Також можливо, що сировина навантажувалася, транспортувалася і була доставлена при плюсовій температурі повітря, змерзається внаслідок різкого зниження температури при тривалому очікуванні вивантаження.

Було проведено регресійний аналіз даних на окремих прикладах таких вантажів як кокс, вугільний концентрат та окатиші [92]. При визначені залежності тривалості розігріву сировини від температури повітря були взяті дані температур на момент навантаження сировини, на момент прибуття вантажу в пункт призначення та температура навколишнього середовища на момент початку розігріву.

В результаті аналізу були отримані емпіричні лінії регресії залежності тривалості розігріву вантажів від температури навколишнього середовища на момент початку їх розігріву:

$y = 1{,}9774 – 0{,}0678x$ – для коксу;

$y = 6{,}2679 – 0{,}8435x$ – для вугільний концентрату;

$y = 0{,}3795 – 0{,}526x$ – для окатишів.

Графічна інтерпретація ліній регресії за кожним видом вантажу наведена на рис. 4.2 – 4.4.

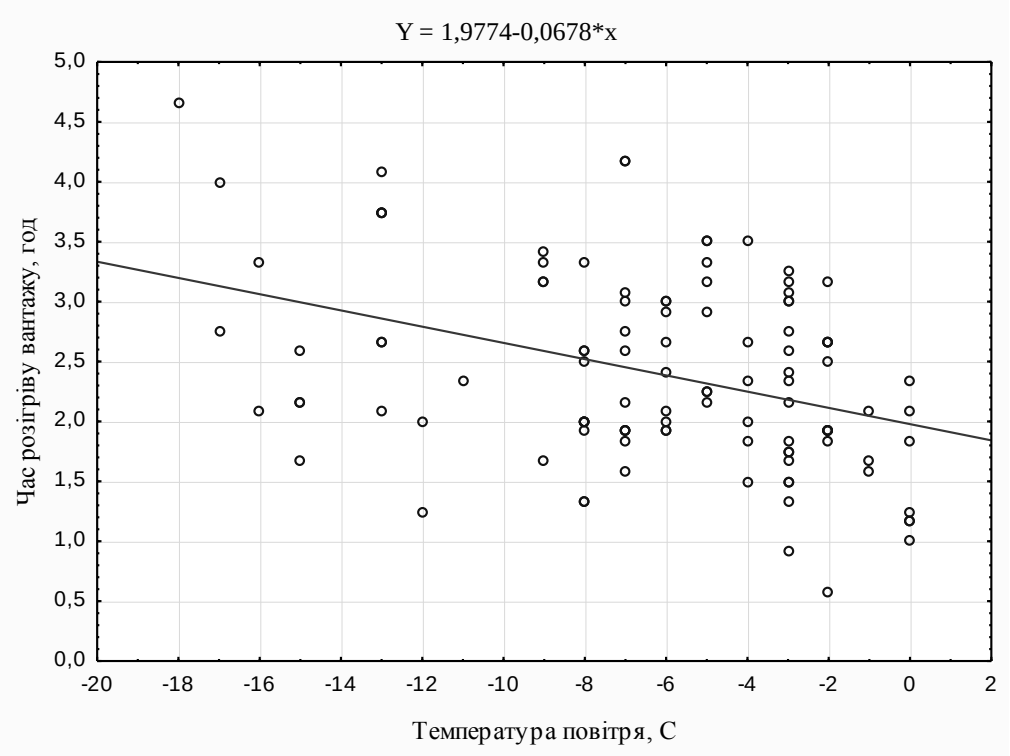

Рисунок 4.2 – Поле кореляції і емпірична лінія регресії даних розігріву коксу

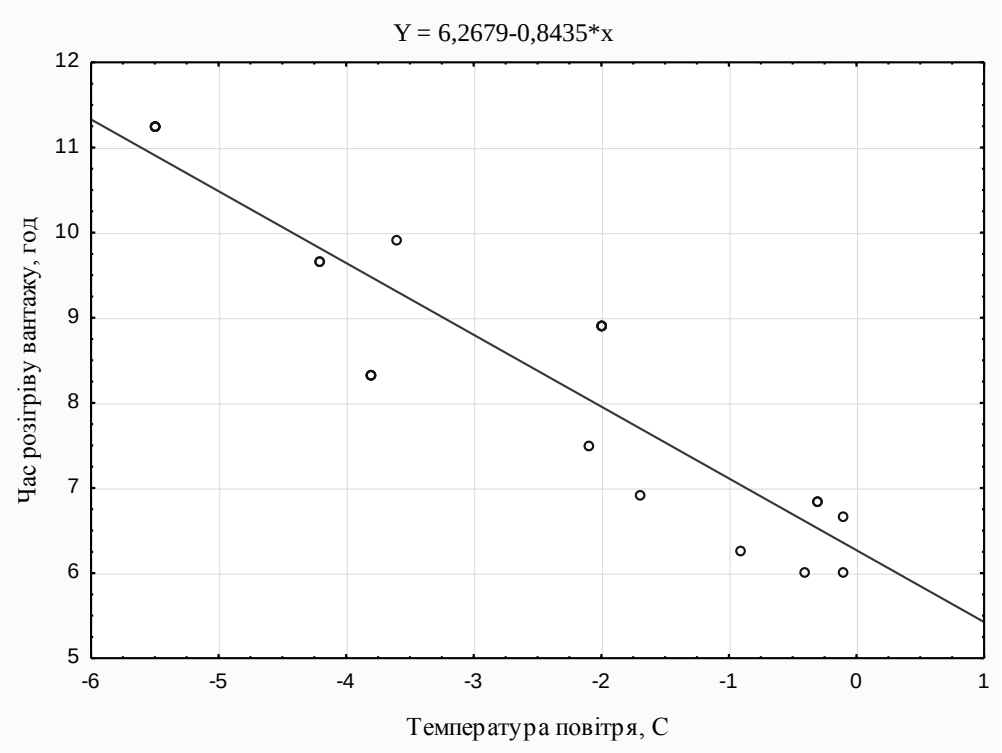

Рисунок 4.3 – Поле кореляції і емпірична лінія регресії даних розігріву вугільного концентрату

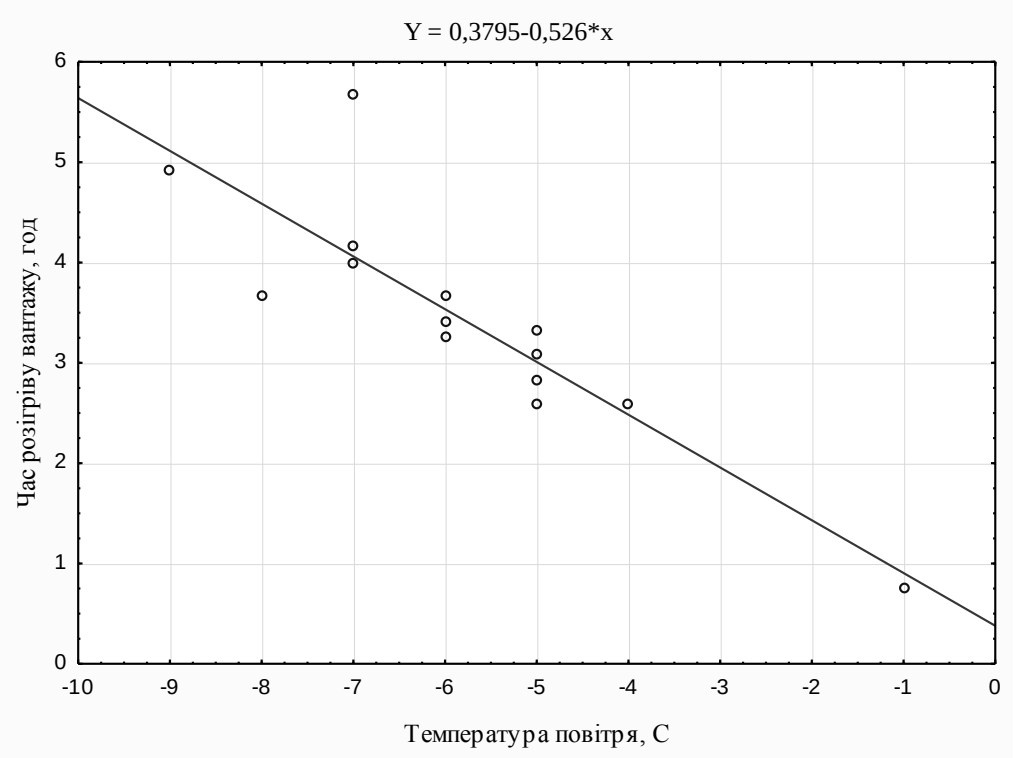

Рисунок 4.4 – Поле кореляції і емпірична лінія регресії даних розігріву окатишів

Для решти вантажів регресійні залежності були розраховані раніше в роботі [15]:

$y = 1{,}383 – 0{,}233x$ – для залізорудного концентрату;

$y = 1{,}791 – 0{,}228x$ – для руди;

$y = 2{,}171 – 0{,}257x$ – для вапняку;

$y = 1{,}2857 – 1{,}5476x$ – для вугілля;

де y – тривалість розігріву вантажу, год;

x – температура навколишнього середовища, t°С

Тривалість маневрових робіт є важливою складовою частиною загальної тривалості обороту вагону [93]. Тривалість доставки вагонів з камер розігріву до фронтів вивантаження складає: станція Південна – Рудний двір – 15 хв; станція Південна – Аглофабрика – 14 хв; станція Південна – Шихтовий двір – 5 хв. Тривалість постановки вагонів у камеру розігріву складає 17,37 хв, тривалість витягування вагонів з камери розігріву складає 16,34 хв. Графіки тривалості витягування вагонів з камери розігріву і тривалості доставки вагонів з камери розігріву до фронту вивантаження зображені на рис. 4.5 - 4.6.

Операція	t, хв	Тривалість, хв
		2 4 6 8 10 12 14 16 18
Приготування маршруту для звільнення колії	0,25	
Подача складу з 15-ти вагонів до сигналу «Зупинка составу»	4,29	
Подача складу від сигналу «Зупинка составу» до камери РРП	4,07	
Узгодження дій помічника машініста-упорядника та газівника	1	
Осаджування составу (11 вагонів) в камеру зі швидкістю до 3 км/год	2,68	
Розгальмовування 4-х вагонів	1,28	
Прохід упорядника до входу в камеру	0,64	
Осаджування составу (4 вагони) в камеру зі швидкістю до 3 км/год	1,26	
Укладання гальмових башмаків	0,4	
Вдчеплення локомотива	1,4	
Доповідь локомотивної бригади про закінчення постановки	0,1	
Загальна тривалість	17,37	

Рисунок 4.5 – Графік тривалості постановки вагонів у камеру розігріву

Операція	t, хв	Тривалість, хв
		2 4 6 8 10 12 14 16 18
Повідомлення про розігрів вантажу	0,1	
Заїзд локомотива резервом з парку до воріт рудорозморожувача	2,99	
Узгодження дій помічника машініста-упорядника та газівника	1	
Причеплення локомотива до вагонів, прибирання гальмових башмаків	0,2	
Підтягування другого з під'їзду вагона, з точною установкою для випробування розігріву	0,93	
Випробування другого від воріт вагона газівником вантажу списом	1,5	
Підтягування, з установкою третього від воріт вагона для випробування розігріву	0,93	
Випробування газівником вантажу списом	1	
Витягування составу повністю з камери	3,1	
Посадка упорядника на хвостовій вагон і подання команди на рух	0,2	
Витягування на парк - 9 путь	4,39	
Загальна тривалість	16,34	

Рисунок 4.6 – Графік тривалості витягування вагонів з камер розігріву

Розподіл вантажів по фронтам вивантаження. Проведено статистичний аналіз даних надходження різних видів вантажів на фронти вивантаження Рудний двір, Аглофабрика та Шихтовий двір на момент проведення дослідження. Об'єми надходження різних видів вантажів на фронти вивантаження у вагонах та у процентному відношенні наведені у табл. 4.2 – 4.3.

Таблиця 4.2 – Об'єми надходження різних видів вантажів на фронти вивантаження металургійного комбінату за 2015 рік

Вантаж	Надходження вантажів на фронти вивантаження, вагони			Усього, вагони
	Рудний двір	Аглофабрика	Шихтовий двір	
Залізорудний концентрат	28362			28362
Руда	21969			21969
Окатиші	52	3630	167	3682
Кокс		11008	3315	11176
Вапняк	1955	101	4458	5371
Вугілля			1629	4471
Вугільний концентрат			783	1629
Інші	47		10352	830
Усього, вагони	52385	14739		77490

Таблиця 4.3 – Об'єми надходження різних видів вантажів на фронти вивантаження у процентному відношенні

Вантаж	Надходження вантажів на фронти вивантаження, %		
	Рудний двір	Аглофабрика	Парк
Залізорудний концентрат	100 %		
Руда	100 %		
Окатиші	2%	98%	
Кокс		98%	2%
Вапняк	36%	2%	62%
Вугілля			100%
Вугільний концентрат			100%
Інші	6%		94%

До інших вантажів віднесено такі вантажі як кварцити, магнезитовий порошок, торф. Їх об’єми надходження порівняно незначні, тому при створенні моделі вони об’єднані в одну гілку «Інші».

Тривалість вивантаження вагонів на вантажних фронтах. Проведено статистичний аналіз даних підприємства з тривалості вивантаження різних видів вантажу на певних фронтах. Також встановлено закони розподілу, яким вони підпорядковуються. (рис. 4.7- 4.16, табл.4.4).

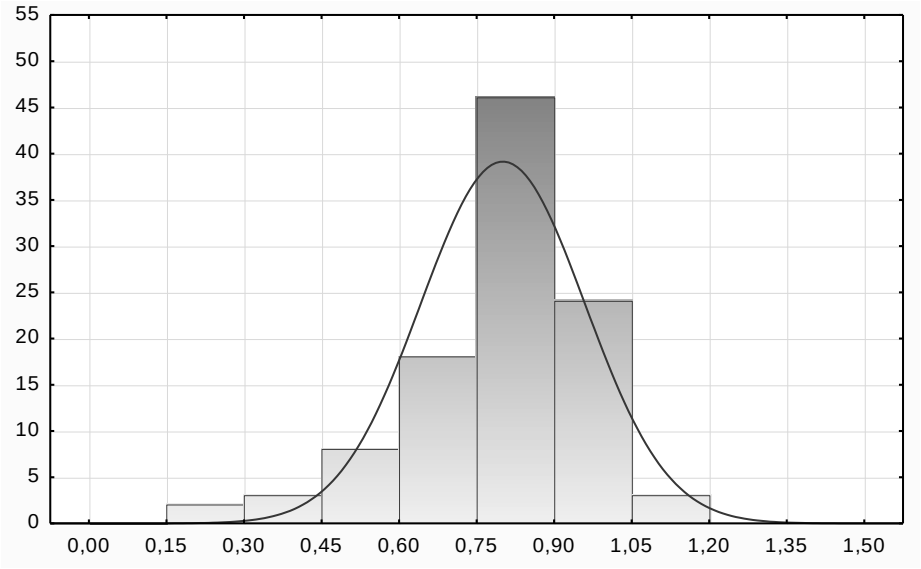

Рисунок 4.7 – Гістограма тривалості розвантаження рудних матеріалів на рудному дворі

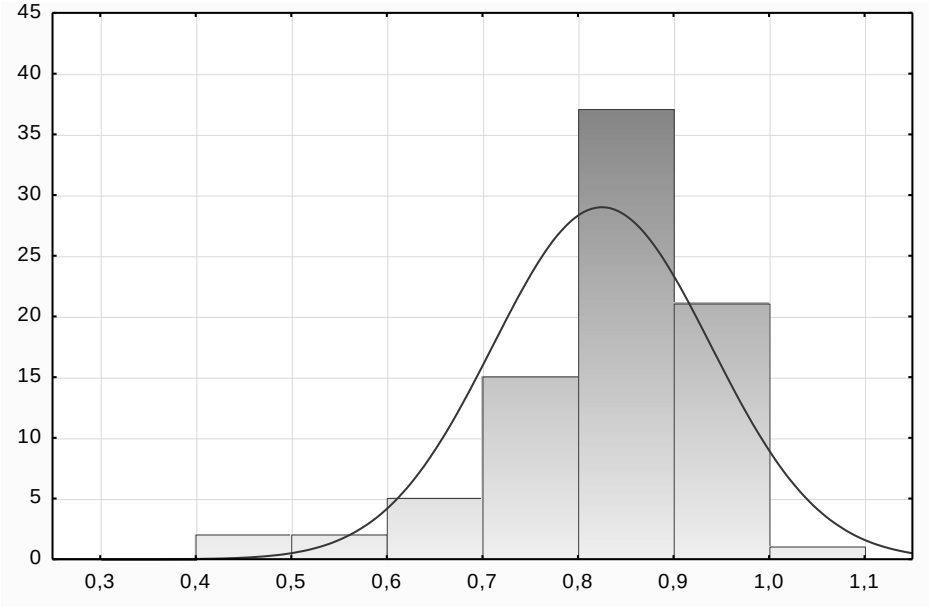

Рисунок 4.8 – Гістограма тривалості розвантаження залізорудного концентрату на рудному дворі

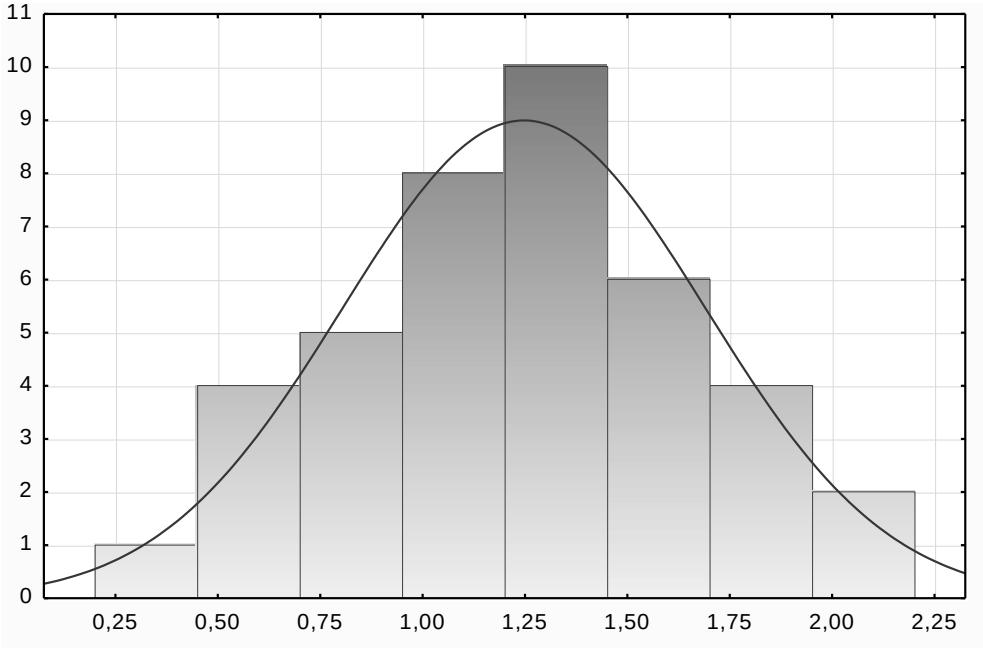

Рисунок 4.9 – Гістограма тривалості Залізорудний концентрат на рудному дворі

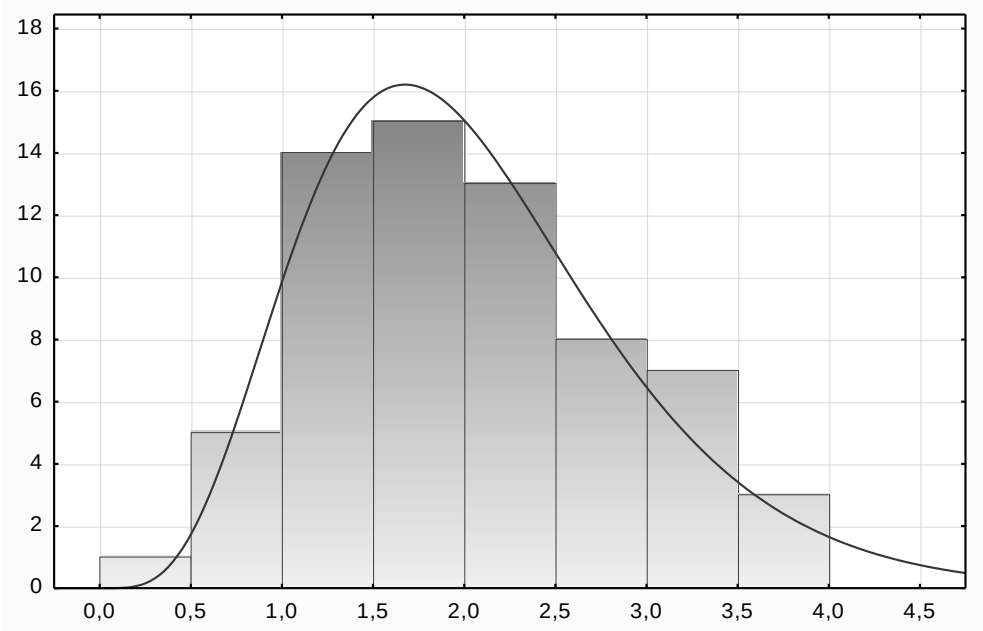

Рисунок 4.10 – Гістограма тривалості розвантаження коксу на аглофабриці

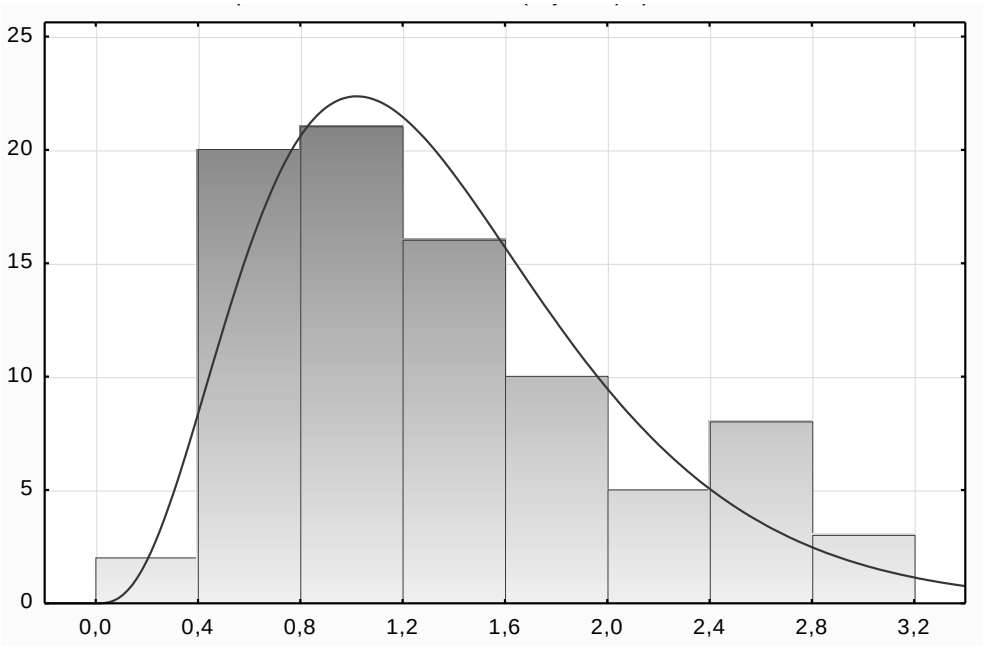

Рисунок 4.11 – Гістограма тривалості розвантаження окатишів на аглофабриці

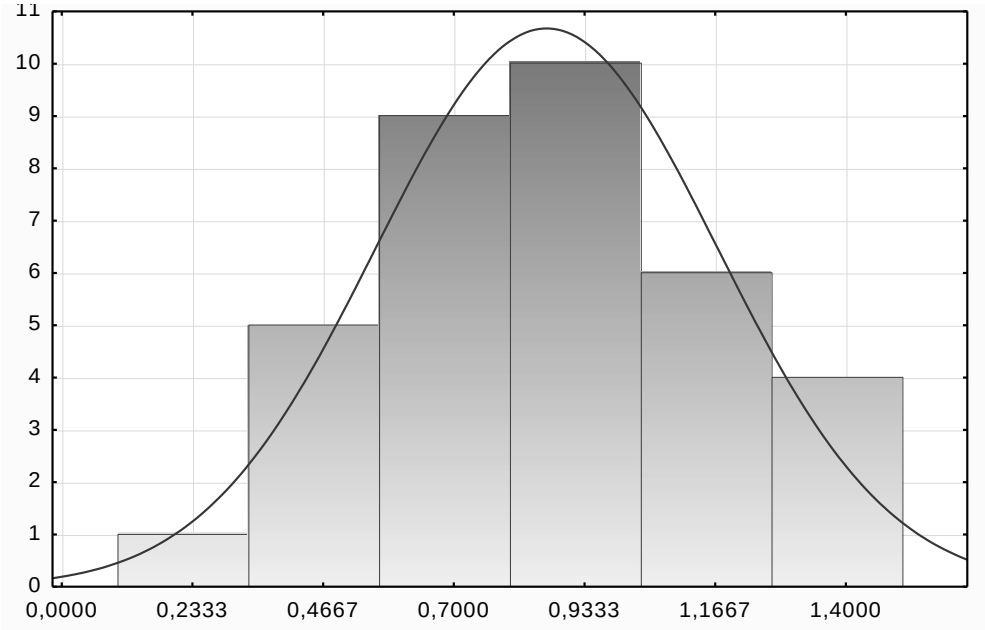

Рисунок 4.12 – Гістограма тривалості розвантаження вапняку на аглофабриці

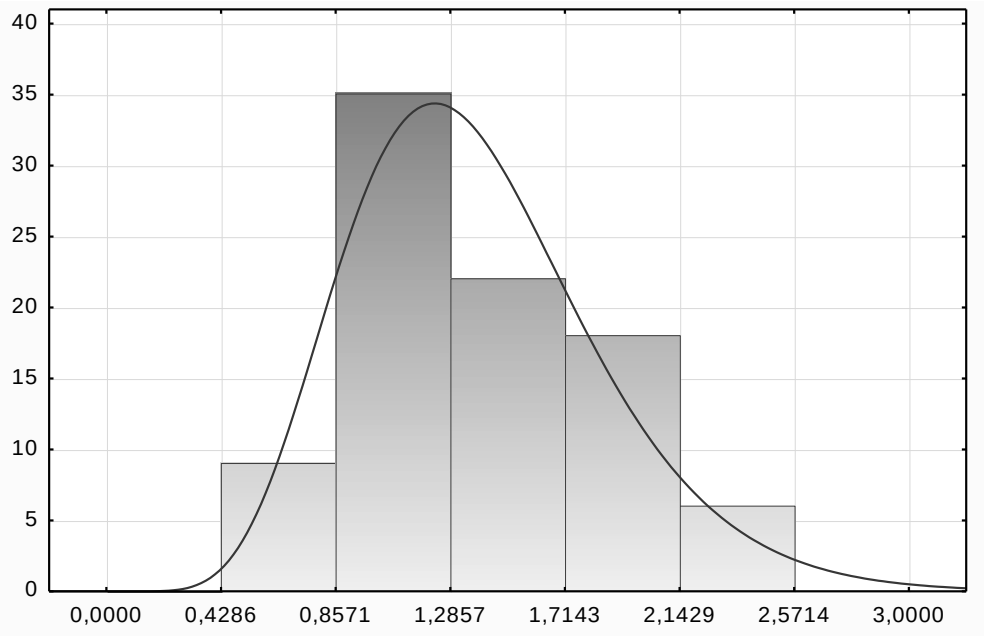

Рисунок 4.13 – Гістограма тривалості розвантаження вапняку на шихтовому дворі

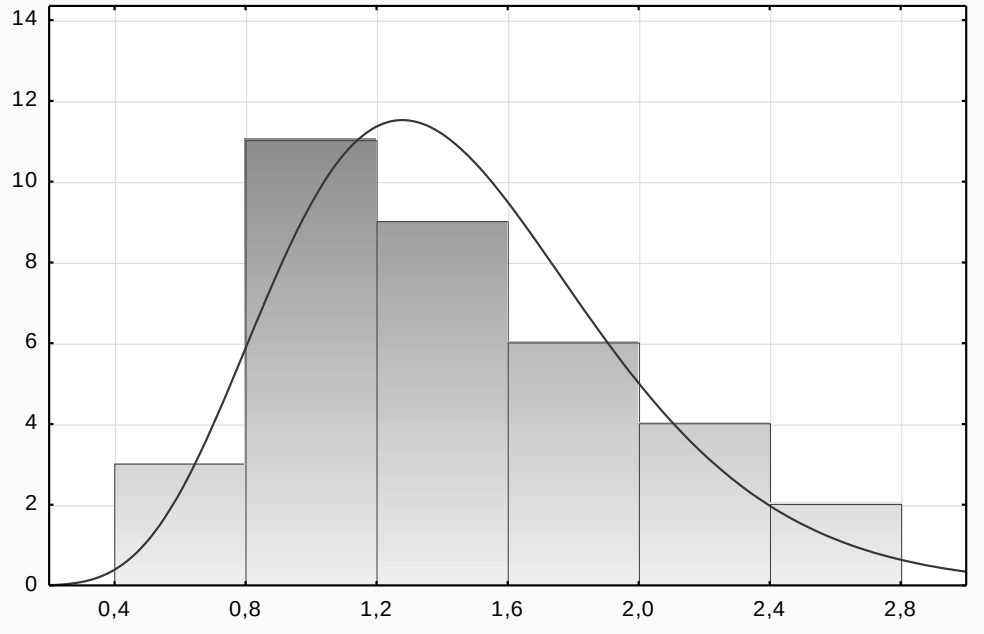

Рисунок 4.14 – Гістограма тривалості розвантаження вугілля на складі

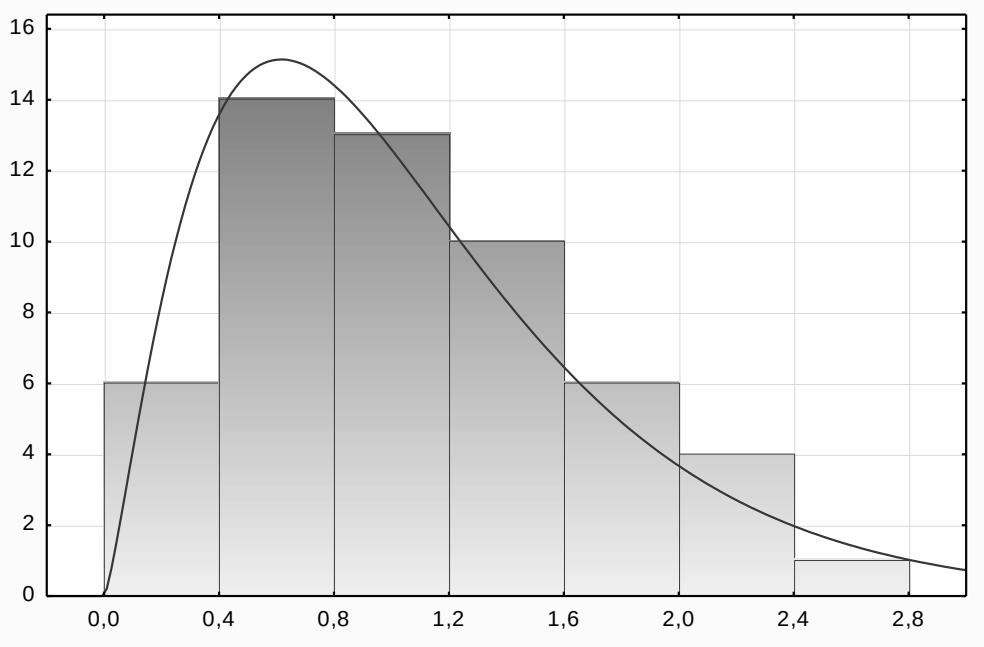

Рисунок 4.15 – Гістограма тривалості розвантаження вугільного концентрату на складі

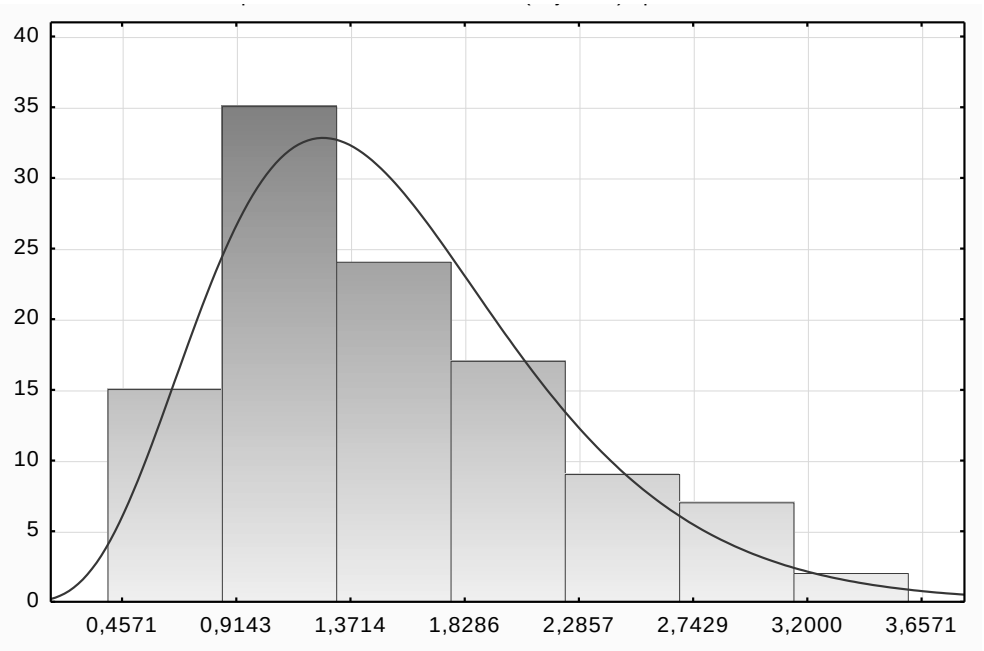

Рисунок 4.16 – Гістограма тривалості розвантаження інших вантажів на складі

Таблиця 4.4 – Результати статистичного аналізу тривалості вивантаження вантажів на фронтах вивантаження

Вантаж	min, год	max, год	Середнє значення, год	Стандартне відхилення	Закон розподілу
Рудний двір					
Рудні матеріали	0,25	1,17	0,80	0,16	нормальний
Концентрат залізорудний	0,42	1,03	0,83	0,11	нормальний
Вапняк	0,42	15,58	3,29	3,17	нормальний
Інші	0,30	1,43	0,69	0,36	не задається
Аглофабрика					
Кокс	0,42	8,17	2,90	1,53	гамма
Окатиші	0,33	11,75	2,25	2,08	гамма
Вапняк	0,25	6,92	1,58	1,39	нормальний
Шихтовий двір та склад					
Вапняк	0,50	7,50	2,24	1,41	гамма
Вугілля	0,67	14,63	4,38	3,40	гамма
Концентрат вугільний	0,17	14,00	3,76	2,87	гамма
Інші	0,67	9,50	2,35	1,69	гамма

В результаті статистичного аналізу встановлено, що тривалість вивантаження вантажів на фронтах вивантаження основних вантажів підпорядковується нормальному закону розподілу та гамма-розподілу. Для «інших» вантажів, що надходять на Рудний двір, тривалість вивантаження приймається рівною середньому значенню, так об’єми їх надходження на даний вантажний фронт незначні.

4.1.3 Розробка імітаційної моделі процесу розігріву та вивантаження сировини на металургійному підприємстві в холодний період року

В основі дискретно-подійної моделі лежить діаграма процесу – сукупність з’єднаних між собою блоків, що задають послідовність операцій, які будуть виконуватися над заявками, що проходять по діаграмі процесу. Діаграма процесу створюється шляхом додання об’єктів бібліотеки з палітри на

діаграму класу активного об’єкту, з’єднання їх портів та змінення властивостей згідно з вимогами розроблюваної моделі. Діаграма процесу починається з елементів типу *source* , які генерують потоки заявок. Заявки представляють собою об’єкти які створюються, обробляються, обслуговуються, або ще якимось чином піддаються дії модельованого процесу. У даному випадку заявками є подачі вагонів із сировиною, що надходять на підприємство.

Для кожного виду вантажу було створено окремий java-клас, що дає змогу задавати кожному з них відповідну тривалість розігріву та розвантаження, а також збирати статистку на виході з моделі. Кожен клас заявок генерується в окремому об’єкті *source,* де задаються інтервали прибуття вантажів та кількість подач вагонів, що прибувають одночасно. Інтервали прибуття встановлюються за допомогою законів розподілу, що були визначені раніше для кожного виду вантажу.

За допомогою об’єкту *selectOutput5* визначається необхідність у розігріві вантажу. Цей об’єкт направляє вхідні заявки в один із двох вихідних портів залежно від виконання умови. За від’ємної температури повітря вантаж відсилається до тепляків, в іншому випадку – на фронти вивантаження.

Температура повітря в даній імітаційній моделі задається за допомогою генерації подій *event*. Для цього створено 8 подій, кожна з яких відповідає визначеному моменту часу. Події відбуваються кожні три години, в момент настання події температура повітря змінюється згідно вихідних даних (додаток Б). Тривалість експерименту становитиме 5 діб, тому для зручності встановлено період кожної події – 24 години, а зміна доби відбувається за допомогою програмного коду, прописаного в полі «дія» кожного об’єкту *event*. (рис. 4.17).

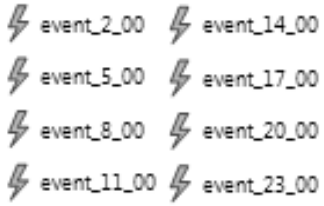

Рисунок 4.17 – Генерація подій – зміни температури повітря

Необхідно врахувати, що від моменту прибуття вантажів і розподілення їх по гілкам моделі до моменту подачі на розігрів пройде деякий час і температура повітря може змінитися, в такому випадку тривалість розігріву розраховуватиметься некоректно. Для виключення цієї похибки при настанні події *event* значення температури повітря присвоюється одразу двом змінним. Перша змінна *temperatura_pribytie* використовується для фіксації значення температури повітря в момент прибуття подачі. Значення цієї змінної використовується в об'єкті *selectOutput5*, що регулює надходження вантажу до тепляків. Друга змінна *temperature* встановлює значення температури, яке приймається в розрахунках тривалості розігріву вантажу в гаражі.

На рисунку 4.18 наведена схема роботи камер розігріву. Заявки, що направлені до тепляків захоплюють вільний ресурс «локомотив» за допомогою об'єкту *service*. Час затримки ресурсу призначаємо рівним тривалості постановки вагонів у камеру. На час розігріву вантажу ресурс «локомотив» звільняється об'єктом типу *release*, та захоплюється знову вже при виході з тепляка. Тепер час затримки ресурсу «локомотив» приймається рівним тривалості витягування вагонів із камер розморожування.

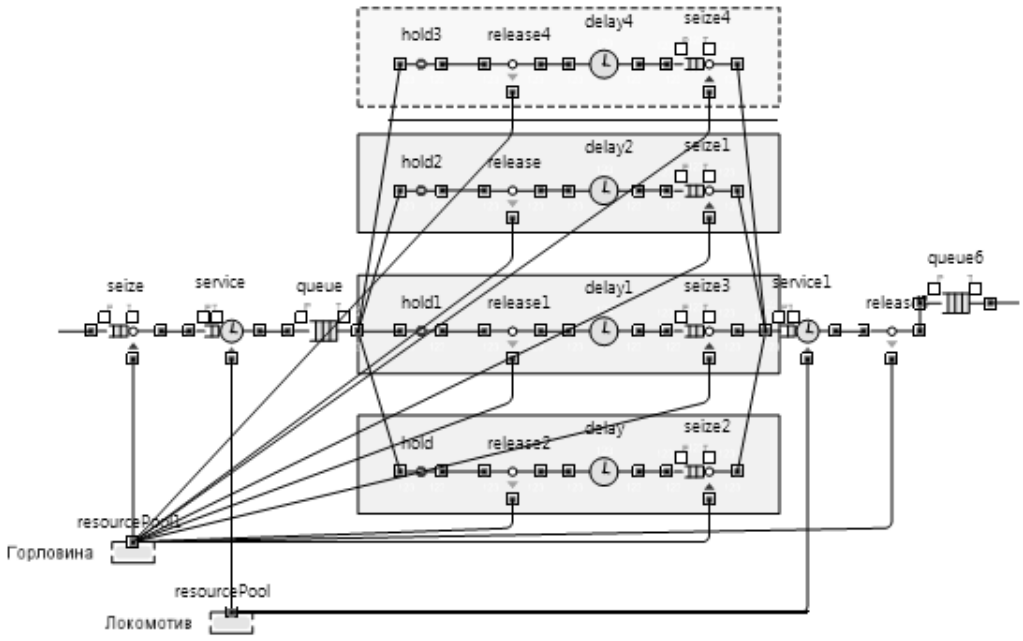

Рисунок 4.18 – Блок діаграми процесу імітації роботи камер розігріву

Оскільки на ділянці, що знаходиться перед заїздом до тепляків може знаходитися лише один состав, введено статичний ресурс «горловина». Цей ресурс захоплюється заявками при підході до цієї ділянки і звільняється в момент потрапляння подачі до тепляка таким чином інша заявка не зможе захопити ресурс «горловина» до того, як попередня заявка його звільнить.

Імітація роботи камер розігріву представлена блоками, що включають в себе в себе такі об'єкти як *delay, hold, release* та *seize*. Об'єкти *release seize*, як вже було зазначено, відповідають за вивільнення та захоплення ресурсу «локомотиву» для маневрів з подачами.

Основним об'єктом цих блоків є *delay*, який затримує заявки на заданий період часу, що рівний тривалості розігріву вантажу. Місткість цього об'єкту задаємо рівною одному, так як в тепляку не може знаходитися більше однієї подачі.

Необхідно врахувати, що для кожного виду вантажу тривалість розігріву приймає різні значення. Для цього час затримки об'єктів *delay* задаємо змінними *vremia_razogreva_1…vremia_razogreva_3*. Початкове значення змінних не встановлюється, так як спочатку невідомо який вантаж до якої камери надійде. Присвоєння нового значення змінній часу затримки буде відбуватися в об'єктах *hold* за допомогою програмного коду. Цей код перевірятиме клас заявки, що надійшла в обслуговування (вид вантажу, який подається під розігрів) і, в залежності від класу, встановлюватиме значення змінної часу затримки об'єктів *delay…delay2* згідно раніше отриманим регресійним залежностям.

За допомогою об'єктів *hold* регулюється наповненість камер розігріву. Ці елементи блокують або розблоковують потік заявок на певній ділянці діаграми процесу, цим самим надають можливість уникнути подачу вагонів в заповнену камеру розігріву.

Перед блоками камер розігріву встановлено об'єкт черги *queue* , в якому накопичуються заявки в очікуванні прийому наступними об'єктами. В поле «дія при виході» елементу *queue* задаємо код:

if (delay.size() == 1) hold.setBlocked(true)

За допомогою цього коду буде перевірятися наповненість об’єктів *delay…delay4* та у випадку зайнятості визначеної камери розігріву приводити в дію блокувальники *hold…hold2*. Для подальшого розблокування елементів *hold* в об’єктах *delay* у полі «дія при виході» вказуємо код *hold.setBlocked(false)*, що дасть можливість по завершенні розморожуванні вантажу надійти наступній подачі в цю камеру розігріву.

Після розігріву усі подачі потрапляють у загальну чергу *queue6*, сюди ж надходять і подачі, що не потребували розігріву. Тут за допомогою об’єктів *selectOutput* вони сортуються за видами вантажу для подальшого розподілення на фронти вивантаження згідно потреб виробництва (рис. 4.19). Для цього у полі «умова» об’єкту *selectOutput* задається певний вид вантажу, таким чином кожен з цих об’єктів відбирає саме вказаний вантаж, а інші відсіює.

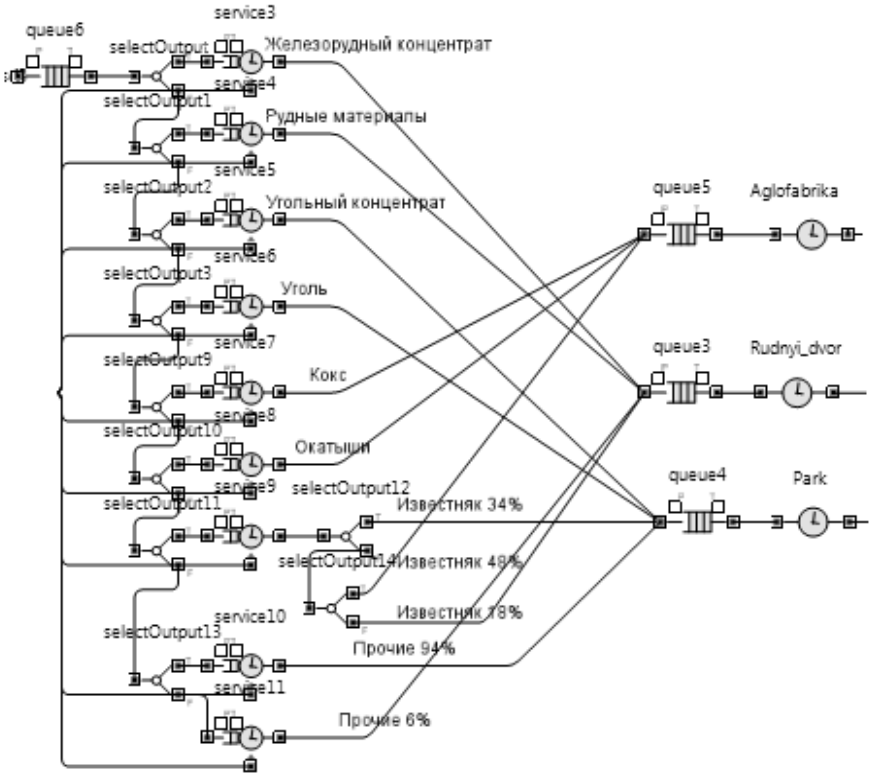

Рисунок 4.19 - Блок діаграми процесу розподілення сировини на фронти вивантаження

Процес вивантаження імітується за допомогою елементів типу *delay* (*Aglofabrika*, *Rudnyi_dvor*, *Park*). Тривалість розвантаження встановлюється змінними *vremia_vygruzki_1… vremia_vygruzki_3*. Значення цих змінних генеруються відповідно встановленим раніше законам розподілу по кожному виду вантажу. Для накопичення заявок, очікуючих обслуговування встановлені черги *queue3… queue5*. Загальний вигляд діаграми процесу імітаційної моделі зображено на рис. 4.20.

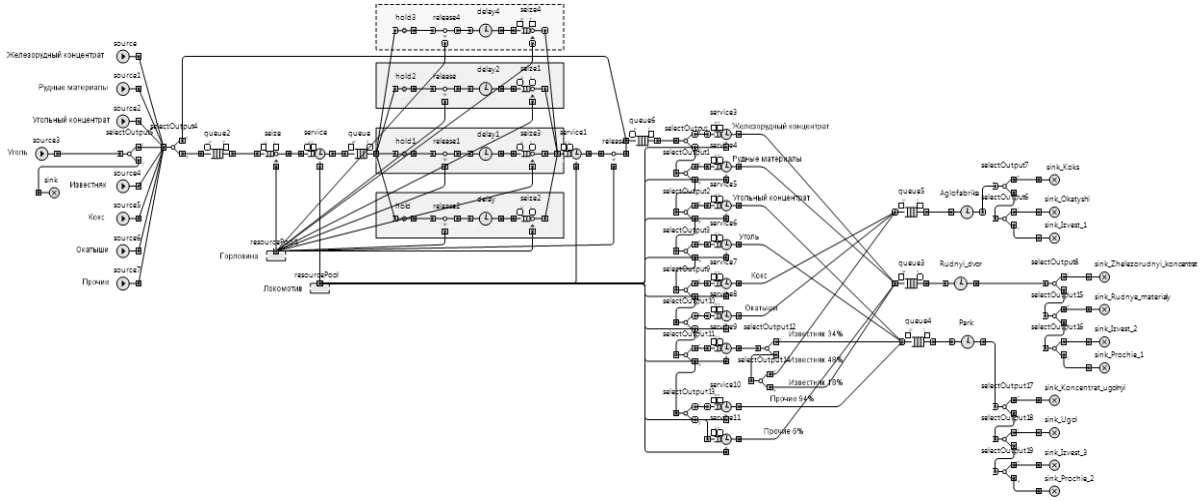

Рисунок 4.20 – Загальний вигляд діаграми процесу імітаційної моделі

Аналогічним чином за допомогою об’єктів *selectOutput* реалізовано сортування заявок за класами після вивантаження. Це дає змогу збору статистичних даних на виході з системи по кожному виду вантажу окремо. В об’єктах *sink* ці дані фіксуються та додаються до статистичних інструментів і опрацьовані заявки знищуються. Збір даних щодо тривалості знаходження заявок в системі здійснюється за допомогою об’єктів «*Дані гістограми*» та «*Набір даних*». Підрахунок необроблених подач виконується шляхом використання змінних. Також за допомогою змінних ведеться статистика використання ресурсів – локомотивів. Значення статистичних змінних присвоюються в момент надходження кожної заявки до об’єкту *sink*.

4.1.4 Визначення необхідної кількості реалізацій експерименту

Для отримання більш точних результатів моделювання треба визначити необхідну кількість реалізацій експериментів. В основі імітаційного моделювання лежить метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло), який базується на використанні випадкових чисел, тобто можливих значень деякої випадкової величини із заданим розподілом ймовірностей. Якщо кількість реалізацій достатньо велика, то отримані результати моделювання системи набувають статистичної стійкості і з достатньою точністю можуть бути прийняті для оцінки шуканих характеристик процесу функціонування системи [94].

У випадку оцінки за результатами моделювання середнього значення деякої випадкової величини X необхідне число реалізацій визначається за формулою:

$$N_{\text{р}} = \frac{t_a{}^2 \sigma^2}{\delta^2 a^2}, \tag{4.1}$$

де a – вибіркове середнє випадкової величини;

σ – стандартне відхилення випадкової величини;

δ - задана точність оцінки параметра (δ = 0,05);

t_α- квантиль нормального розподілу для даного рівня значущості α (приймаємо за табл. 2.6 [94], α = 1,64).

Так як в імітаційній моделі моделюється декілька випадкових величин, то число реалізацій вибирається за умовою:

$$N_{\text{р}} = \max(N_{\text{рі}}), \ \ (i = \overline{i,k}), \tag{4.2}$$

де k – кількість модельних випадкових величин.

Результати розрахунків за формулами (4.1 – 4.2) приведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок необхідних вхідних параметрів та кількості реалізацій експерименту

Вантаж	α	β	Закон розподілу в діаграмі процесу	Кількість реалізацій, $N_р$
Тривалість вивантаження на фронтах				
РУДНИЙ ДВІР				
Рудні матеріали	-	-	normal (0,16; 0,8)	14,23
Концентрат залізорудний	-	-	normal (0,11; 0,83)	6,91
Вапняк	-	-	normal (0,44; 1,25)	45,61
Інші	-	-	-	95,79
АГЛОФАБРИКА				
Кокс	6,15	0,33	gamma (6,15; 0,33; 0,42)	58,73
Окатиші	3,97	0,34	gamma (3,97; 0,34; 0,33)	91,01
Вапняк	-	-	normal (0,31; 0,87)	44,86
Шихтовий двір та склад				
Вапняк	8,59	0,16	gamma (8,59; 0,16; 0,5)	42,03
Вугілля	8,41	0,17	gamma (8,41; 0,17; 0,67)	42,91
Концентрат вугільний	2,9	0,37	gamma (2,9; 0,37; 0,17)	124,56
Інші	5,08	0,30	gamma (5,08; 0,3; 0,67)	71,11
Інтервали надходження вантажів				
Концентрат залізорудний	2,17	4,13	gamma(2,17; 4,13; 2)	166,01
Рудні матеріали	2,50	4,26	gamma(2,5; 4,26; 2)	144,43
Вапняк	1,96	4,37	gamma(1,96; 4,37; 2)	184,63
Вугільний концентрат	-	-	exponential (1 / 30,45)	261,36
Вугілля	-	-	exponential (1 / 15,78)	199,35
Кокс	-	-	exponential (1 / 9,03)	189,62
Окатиші	3,41	7,86	gamma (3,41; 7,86; 2)	105,72
Інші	2,36	9,30	gamma (2,36; 9,3; 2)	152,81

В результаті розрахунків кількість необхідних реалізацій становить $N_р$ = 262 реалізацій. Для завдання випадкових величин з нормальним законом розподілу в моделі використовуються такі параметри як стандартне відхилення та середнє значення, для експоненціального закону – середнє значення. Для випадкових величин, що підпорядковуються гамма-розподілу використовується мінімальне значення, а також були розраховані параметри розподілу α та β.

4.1.5 Проведення експериментів в умовах варіювання вхідних параметрів моделі

Для встановлення ефективного режиму функціонування ТСЛС МП вивантаження моделювання проводилося в умовах варіювання вхідних параметрів моделі. Змінними параметрами моделі виступають кількість використовуваних локомотивів та кількість камер розігрівання вантажів. На момент дослідження на базовому підприємстві при роботі ТСЛС в умовах відновлення сипкості вантажів використовувалися три камери розігріву та чотири локомотива для маневрових робіт. В моделі розглядається можливість використання додаткової четвертої камери розігріву.

При проведенні експерименту необхідно зв’язати параметри, що розміщуються на кореневому об’єкті діаграми процесу з параметрами вкладених об’єктів. Пов’язування параметрів необхідне, так як змінювати в ході експерименту можливо лише параметри кореневого об’єкту. В результаті пов’язування значення параметру будь-якого рівня вкладеного об’єкта буде рівним значенню параметра верхнього рівня.

З метою спостереження за зміною тривалості простоїв вагонів в системі в залежності від кількості використовуваних ресурсів, створюється експеримент типу «Варіювання параметрів» для стохастичної моделі. В експерименті задаються такі діапазони варіювання змінних параметрів: кількість локомотивів – від 1 до 5, кількість камер розігріву – від 1 до 4. Кількість прогонів моделі згідно попереднім розрахункам задається рівною 262 реалізації.

Для отримання результатів прогонів моделі використовуються елементи збору статистики «Набір даних», в яких фіксуються значення тривалості простою вагонів, відсоток використання локомотивів, відсоток використання горловини, а також кількість вчасно необслугованих вагонів для кожної реалізації. Графічна інтерпретація результатів моделювання реалізована за допомогою інструментів «Графік» та «Гістограма» (рис. 4.21)

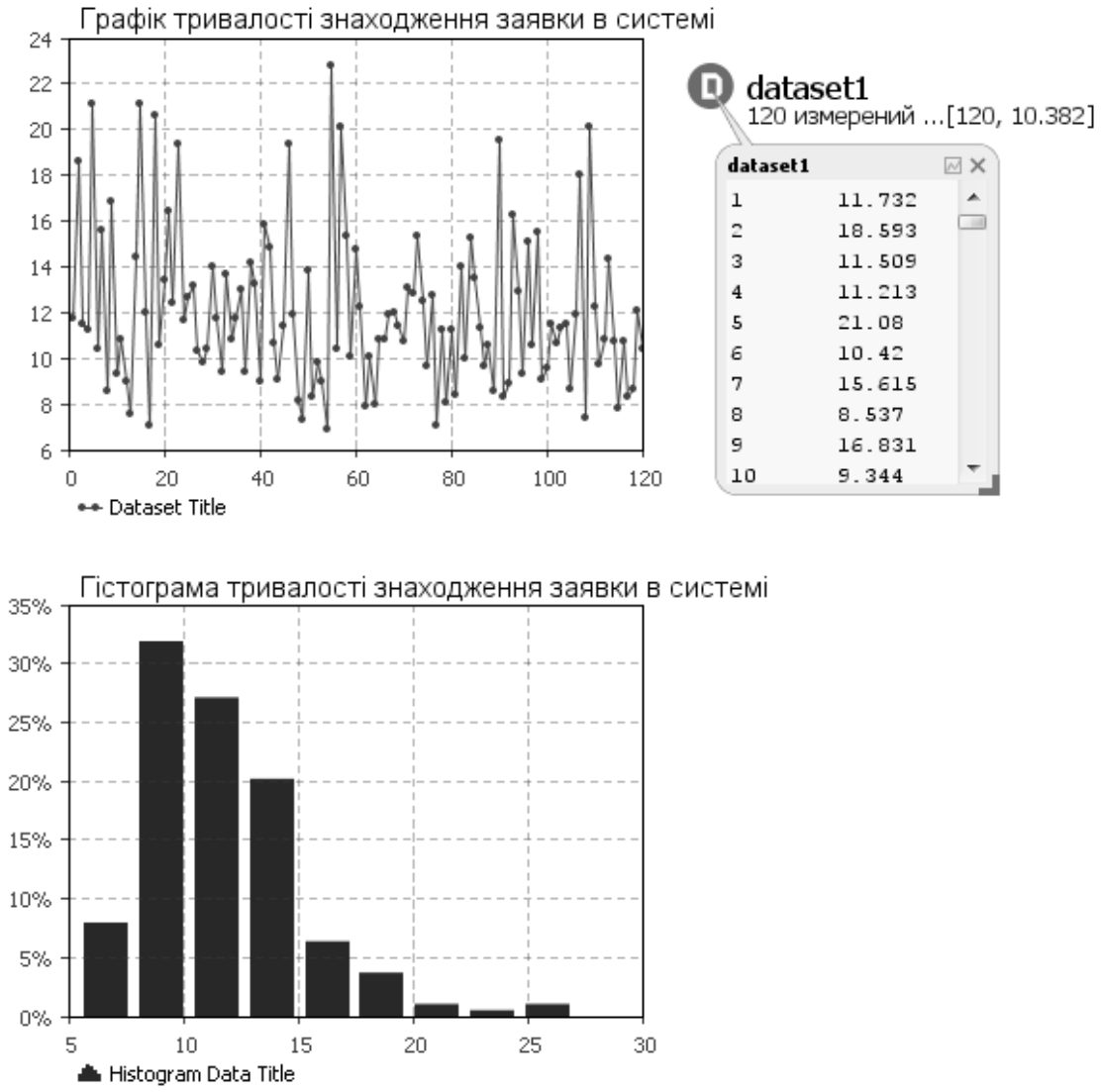

Рисунок 4.21 – Реалізація збору статистичних даних результатів реалізацій експерименту

Елемент «Графік» містить у собі інформацію щодо тривалості знаходження заявки в системі при кожній реалізації експерименту і дозволяє наглядно відстежити варіювання тривалості простоїв вагонів. Елемент «Гістограма» окрім збору даних надає основні статистичні характеристики випадкової величини та дозволяє встановити їх закони розподілу. Як видно з гістограми, випадкова величина тривалості знаходження заявки (в нашому випадку подачі вагонів) в системі підпорядковується гамма-розподілу. Для подальшого аналізу результатів експерименту були відібрані середні значення основних параметрів моделі (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Результати експериментів в умовах варіювання змінних параметрів моделі

№ п/п	Кількість локомотивів, $n_{лок}$	Кількість камер $n_{кам}$	Середній простій вагонів, $t_{пр}$, год	Використання горловини, $k_{горл}$	Використання локомотивів, $k_{лок}$	Залишок необроблених вагонів, $k_{необсл}$, %
1	1	1	27,06	0,9548	0,4170	52,34
2	2	1	25,81	0,9534	0,2186	51,10
3	3	1	26,27	0,9539	0,1466	51,54
4	4	1	26,20	0,9566	0,1089	51,20
5	5	1	26,60	0,9573	0,0871	51,67
6	1	2	24,46	0,9470	0,6248	38,44
7	2	2	20,94	0,9346	0,3529	31,40
8	3	2	20,38	0,9339	0,2426	31,06
9	4	2	20,45	0,9291	0,1775	32,08
10	5	2	19,93	0,9258	0,1458	31,80
11	1	3	20,61	0,9434	0,7429	29,86
12	2	3	15,33	0,8708	0,4431	20,02
13	3	3	14,50	0,8614	0,2984	18,99
14	4	3	14,31	0,8521	0,2224	18,79
15	5	3	13,72	0,8374	0,1800	18,50
16	1	4	19,03	0,9234	0,7987	26,58
17	2	4	12,35	0,8124	0,4879	14,04
18	3	4	11,67	0,7717	0,3300	12,81
19	4	4	11,38	0,7618	0,2478	12,92
20	5	4	11,61	0,7608	0,1996	12,52

В результаті моделювання найменше значення тривалості простою вагонів було отримане при використанні чотирьох локомотивів та чотирьох камерах розігріву. Проте за такого режиму роботи коефіцієнт використання локомотивів низький, що свідчить про нераціональне використання ресурсів. Окрім того необхідно врахувати витрати при використанні додаткової камери розігріву. Для вибору раціональних параметрів функціонування ТСЛС вивантаження необхідно визначити витрати за кожним варіантом роботи системи з урахуванням всіх факторів, що буде виконано у наступних розділах.

4.2 Моделювання ТСЛС відвантаження готової продукції металургійного комбінату

Вантажні фронти прокатних цехів представляють собою залізничні колії, які примикають до складських площадок. Процес навантаження здійснюється за складною транспортною технологією, подача та прибирання вагонів відбувається групами в розмірі місткості вантажного фронту [95]. На обслуговування залізничного транспорту відводиться більша частина загального часу технологічних операцій. Автомобільні заїзди, як правило, призначені для обслуговування власних потреб цеха. У разі використання автотранспорту для відправлення ГП, цей вид транспорту працює у тісній взаємодії із залізничним. Вантажні роботи проводяться одночасно з обома видами транспорту. При цьому виникає багато питань безпеки руху, черговості обслуговування транспортних засобів, розподілу продукції по складських площадках, комплектації замовлень та організації управління транспортно-складськими процесами [96].

В основу проектних рішень ТСЛС повинні бути покладені вимоги високої продуктивності, мінімізації складських запасів вантажів та гнучкості обслуговування. Прагнення при цьому до комплексної автоматизації транспортно-складських робіт у цілому ряді випадків не відповідає вимогам оптимізації. Сучасна технологія проектування повинна використовувати імітаційне моделювання з візуалізацією як основний прийом оптимізації проектних рішень [97]. Використання оптимізації значно знижує ступінь інвестиційного ризику через неефективність проектних рішень.

За умов зміни обсягів між видами транспорту виникають, або стають більш суттєвими раніше приховані фактори, які повинні враховуватись при дослідженнях транспортних процесів.

В якості об’єкта досліджень обрано ТСЛС відвантаження базового підприємства ПАТ «Запоріжсталь». Для вирішення задачі раціонального розподілу автотранспорту між фронтами навантаження було проаналізовано

статистичні дані інтенсивності відвантаження готової продукції. Об’єкт дослідження звужено до двох найбільш інтенсивних фронтів навантаження автотранспорту.

Особливістю даної системи є висока інтенсивність навантаження на одному з фронтів, та низька – на іншому. При визначенні найбільш раціонального розподілу автотранспорту між даними фронтами необхідно врахувати більшу вартість внутрішньоскладського переміщення готової продукції до менш інтенсивно працюючого фронту. Крім того, шлях прямування автотранспорту до цього вантажного фронту перетинає залізничний переїзд. Тому у разі збільшення частки навантаження можливе збільшення простоїв на переїзді [98]. На рисунку 4.22 представлена спрощена структурна схема імітаційної моделі транспортної системи, яка розглядається.

Блок-схема модельованого процесу починається з об’єкту типу «Витік», де генерується потік заявок. Заявки представляють собою об’єкти, які створюються, обробляються, обслуговуються, або ще якимось чином піддаються дії модельованого процесу. У даному випадку заявками є залізничні рухомі склади, що прибувають під навантаження. Для накопичення заявок, що перебувають в очікуванні обслуговування застосовується об’єкт «Черга». Переміщення заявок у системі здійснюється за допомогою введення їх у транспортну мережу.

По прибуттю залізничного составу у цех кожен вагон повинен оброблятися як окрема заявка, тобто замість однієї заявки-подачі маємо отримати певну кількість заявок-вагонів. Складність визначення кількості вагонів у подачі полягає у тому, що ця величина є випадковою, а отже неможливо передбачити кількість ланцюгів обробки вагонів, необхідну при кожному прибутті залізничного составу. Тому блок-схема процесу розрахована на максимальну можливу кількість вагонів у подачі. А для генерації цієї випадкової величини введено змінну «Подача», де за допомогою таких параметрів, як стандартне відхилення та математичне очікування, задається її нормальний закон розподілу.

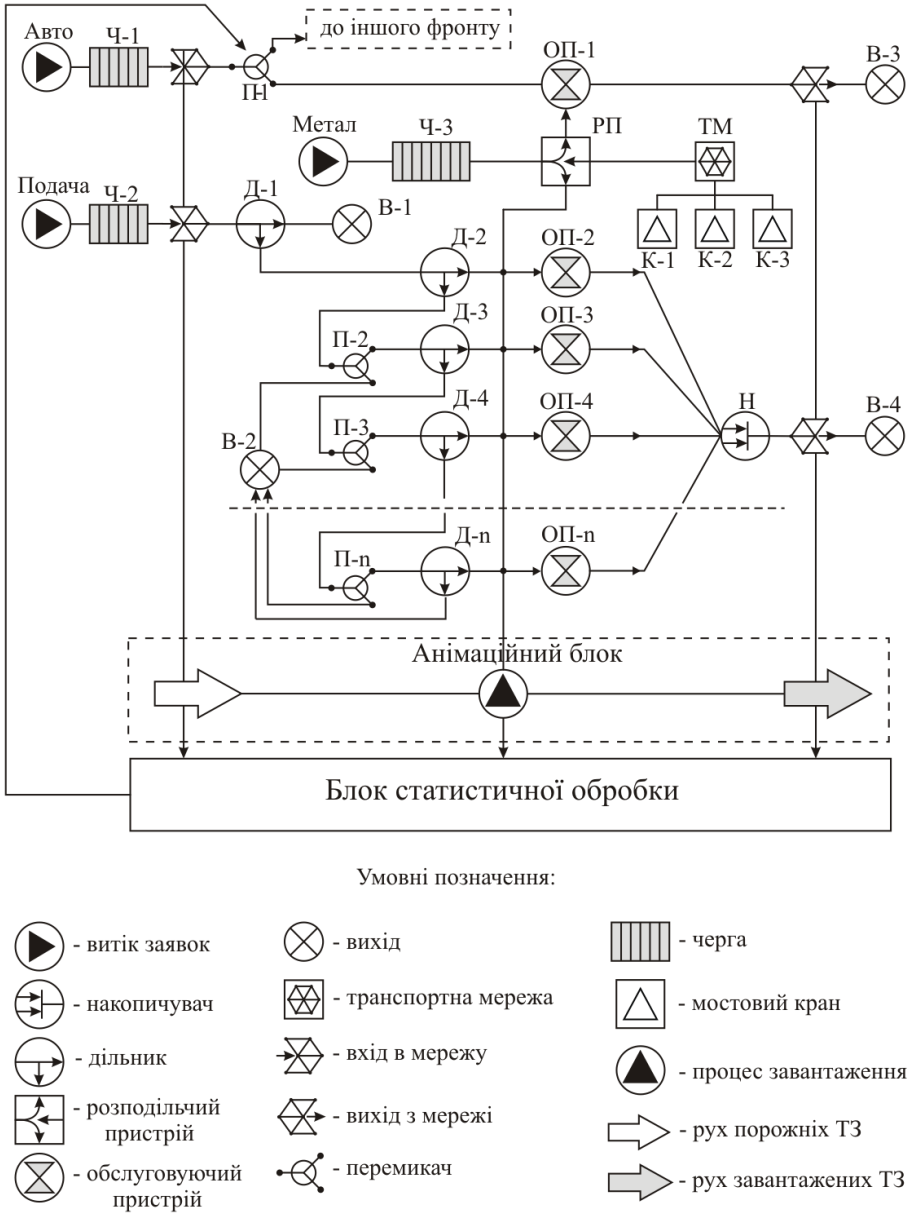

Рисунок 4.22 – Структурна схема імітаційної моделі транспортно-складської підсистеми відвантаження готової продукції в умовах збільшення частки перевезень автомобільним транспортом

Процес розформування подачі на окремі вагони реалізований у такий спосіб. За допомогою об’єкту типу «Дільник» створюється копія заявки «Копія1». При виході заявки-копії з об’єкту «Дільник» значення змінної «Подача» зменшуємо на одиницю. Заявка-копія передається до об’єкту «Перемикач», де аналізується величина змінної «Подача». За умови, що її значення більше від нуля створюється наступна копія заявки «Копія2», що в

свою чергу відсилається до наступного елементу типу «Перемикач» для перевірки виконання умови. А заявка «Копія1» отримує статус заявки-оригіналу та переходить до ланцюга обробки вагона.

Аналогічним чином копіювання заявок продовжується до тих пір, поки значення змінної «Подача» більше нуля, тобто наявні заявки-вагони, які ще не розподілені по ланцюгах обробки. При досягненні нульового значення змінної «Подача», заявка-копія, що була створена останньою, знищується та подальше копіювання заявок припиняється.

Кожна заявка-оригінал передається на свій ланцюг обробки. Тут вона захоплюється вільним ресурсом, у даному випадку одним з мостових кранів.

Процес завантаження металопродукції у вагони реалізовано за допомогою елементу «Обслуговуючий пристрій». Цей об’єкт затримує заявки на заданий період часу і відображає у моделі процес захвату вантажу мостовим краном та переміщення його у вагон. По закінченню завантаження вагону ресурс вивільняється та відсилається на свою базову позицію.

Об’єкт «Накопичувач» перетворює задану кількість заявок, що надійшли до нього, в одну заявку-партію. Цей елемент містить у собі чергу, в якій зберігаються вхідні заявки. При накопиченні кількості заявок, рівної заданому розміру партії, створюється одна, яка миттєво залишає об’єкт.

В даному випадку заявкою-партією виступає залізничний рухомий склад, а вхідні заявки, які накопичуються елементом – заявки-вагони. Розмір партії встановлюємо рівний значенню змінної «Подача». Таким чином при кожній подачі составу у цех розмір партії буде відповідати значенню величини «кількість вагонів у подачі».

Після того, як усі заявки-вагони обслуговано та сформовано у нову заявку-партію, залізничний состав за допомогою елементу «Рух» залишає цех. В моделі це реалізовано за допомогою елементу «Вихід», який знищує заявки, що до нього надійшли.

Для задавання параметрів виконано статистичний аналіз існуючих вантажопотоків та встановлено їх теоретичні розподіли [99]. Графічна

емпіричних інтерпретація законів розподілу вибірок представлено на рисунках 4.23 – 4.25.

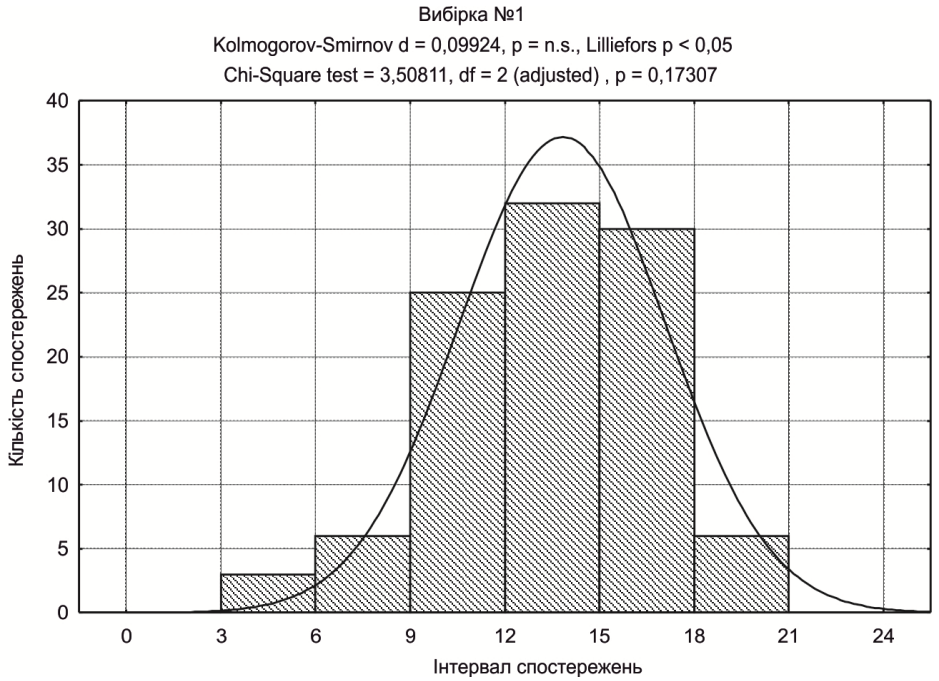

Рис. 4.23 – Графічне представлення емпіричного закону розподілу вибірки №1 (кількість вагонів у подачі на основній ділянці відвантаження ГП)

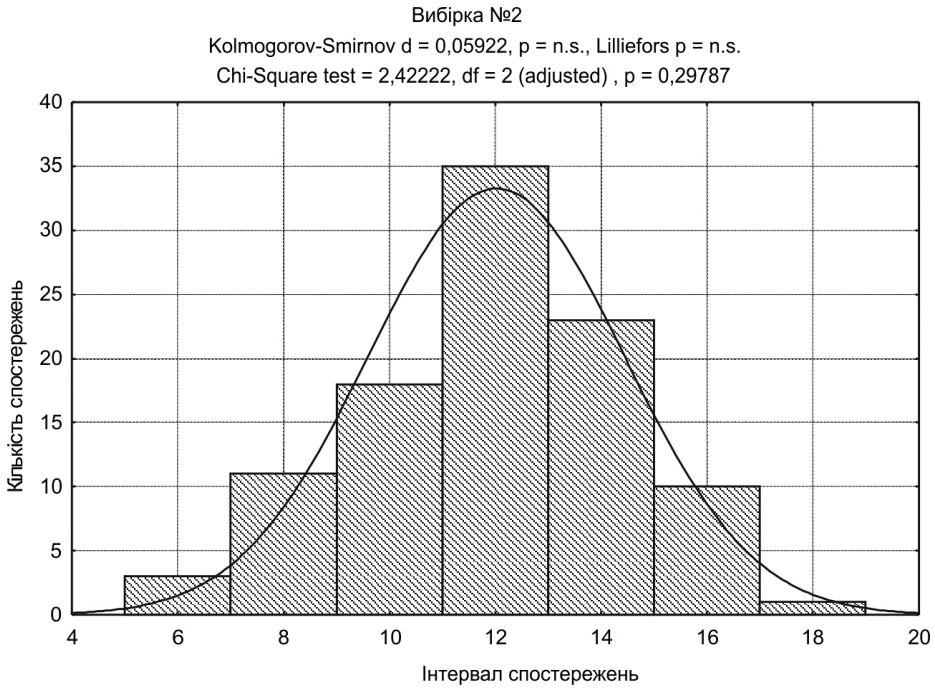

Рис. 4.24 – Графічне представлення емпіричного закону розподілу вибірки №2 (інтервали прибуття составів на основну ділянку відвантаження ГП)

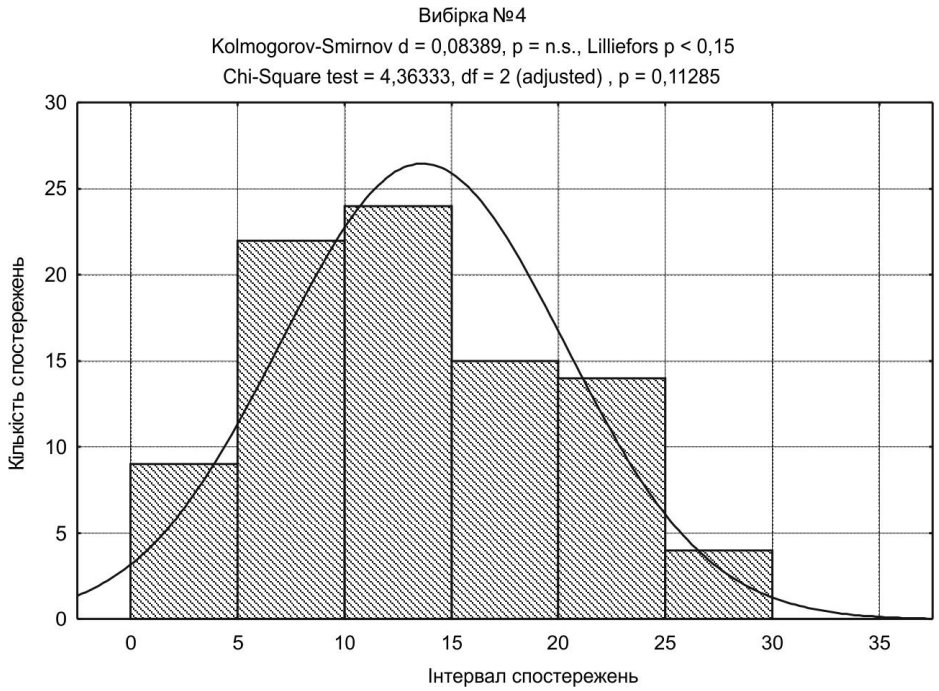

Рис. 4.25 – Графічне представлення емпіричного закону розподілу вибірки №4 (інтервали прибуття составів на віддалену ділянку відвантаження ГП)

Вибірка №3 «Кількість вагонів у подачі на віддаленій ділянці відвантаження ГП» не може підпадати не під один з відомих законів розподілу випадкової величини, оскільки вона приймає лише три значення: 1; 2 та 3.

Тому скористаємося способом моделювання за «жеребкуванням». Згідно вибірки ймовірність прибуття одного вагону в подачі складає p1 = 0,476, ймовірність прибуття двох вагонів у подачі – p2 = 0,485 і трьох вагонів – p3 = 0,039. Тоді кількість вагонів, що прибуває імітується за таких умов:

– якщо $\xi \geq 0{,}476$, то прибуває один вагон;

– якщо $0{,}476 \leq \xi \leq 0{,}961$, то прибуває два вагони;

– якщо $\xi > 0{,}039$, то прибуває три вагони;

(ξ – рівномірно розподілена випадкова величина від 0 до 1).

Моделювання інших параметрів відбувається за встановленим законом розподілу випадкової величини.

Як відомо, функція щільності нормального розподілу виглядає наступним чином:

$$f(x)=\frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\cdot e^{\frac{-(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \tag{4.3}$$

де m_x – вибіркове середнє випадкової величини,

σ_x – середнє квадратичне відхилення.

В нашому випадку існують обмеження щодо можливих значень інтервалів часу надходження транспортних засобів та кількості вагонів у подачі [98]:

$$\begin{cases} 5 < x_1 < 21 \\ 6 < x_2 < 17,5\sqrt{2}, \\ 2,5 < x_3 < 28 \end{cases} \tag{4.4}$$

де x_1 – випадкова величина кількості вагонів у подачі на основну ділянку відвантаження ГП, од.;

x_2 – випадкова величина інтервалів прибуття составів на основну ділянку відвантаження ГП, год.;

x_3 – випадкова величина інтервалів прибуття составів на віддалену ділянку відвантаження ГП, год.

Імовірність того, що випадкова величина набуде значення з діапазону від a до b визначається за виразом [97]:

$$P\left(a<x<b\right)=\int_a^b \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}}\cdot e^{\frac{-(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}\,dx. \tag{4.5}$$

Враховуючи умови (4.4) імовірність випадкових величин становитиме:

$$P\left(5<x<21\right)=\int_5^{21} \frac{1}{3,28\sqrt{2\pi}}\cdot e^{\frac{-(x-13,82)^2}{2\cdot 3,28^2}}\,dx. \tag{4.6}$$

$$P\left(6 < x < 17{,}5\right) = \int_{6}^{17{,}5} \frac{1}{2{,}42\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(x-12{,}02)^2}{2 \cdot 2{,}42^2}} dx. \quad (4.7)$$

$$P\left(2{,}5 < x < 28\right) = \int_{2{,}5}^{28} \frac{1}{6{,}63\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\frac{-(x-13{,}64)^2}{2 \cdot 6{,}63^2}} dx. \quad (4.8)$$

Результати статистичного аналізу вибірок кількості вагонів у подачі та інтервалів прибуття составів наведені у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Статистичні характеристики вибірок

№ вибірки	Кількість спостережень, n	Математичне очікування, m_x	Дисперсія, S_x^2	Стандартне відхилення, σ_x	Коефіцієнт варіації, ν, %	Кількість інтервалів, k
1	102	13,82	10,78	3,28	23,75	6
2	99	12,02	5,87	2,42	20,16	7
3	103	1,56	0,33	0,57	36,58	–
4	88	13,64	43,99	6,63	48,63	6

Для наглядного відтворення процесу відвантаження готової продукції необхідно створити анімацію моделі, так як саме вона визначатиме структуру моделі – її транспортну мережу. Топологія транспортної мережі задається групою фігур: прямокутники задають вузли мережі, а лінії – зв'язки між ними, що відіграють роль шляхів руху заявок та ресурсів у модельованому просторі.

Для створення анімації використовується палітра *Презентація*, що містить набір елементарних фігур, за допомогою яких можемо створити відповідне зображення. Усі елементи транспортної мережі в об'єднуються в групу *set*. На базі елементів цієї групи, яку потім буде вказано у відповідному параметрі конфігураційного об'єкту мережі, буде сконструйована логічна структура мережі (рис. 4.26)

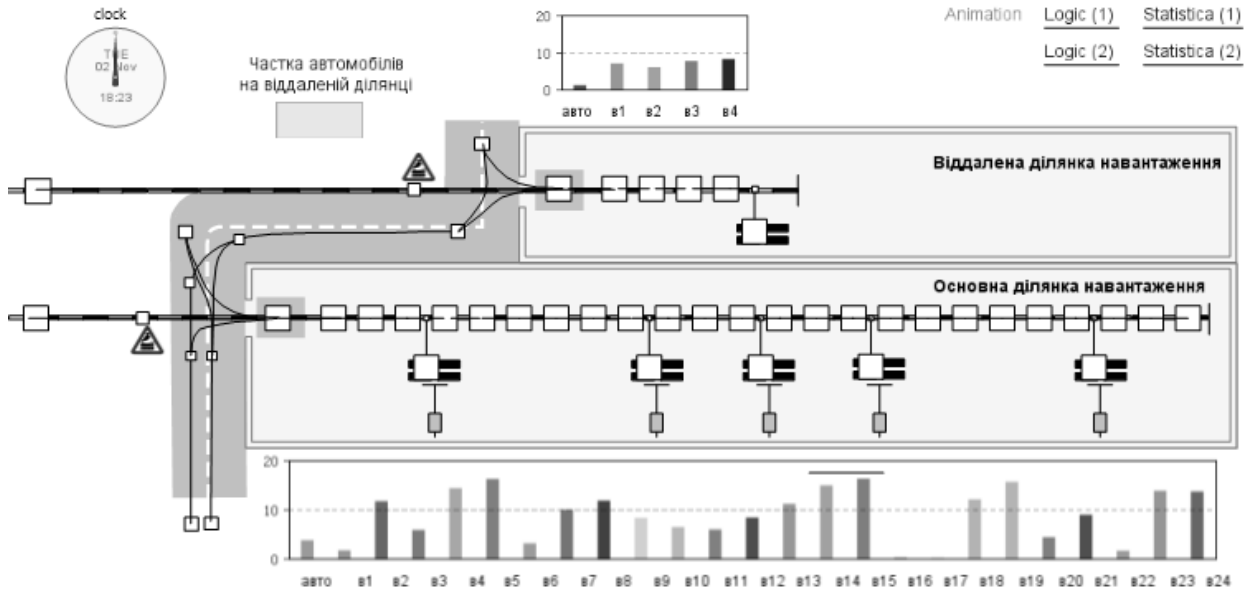

Рисунок 4.26 – Створення анімації моделі функціонування ТСЛС

За допомогою об’єкту *Network* задається топологія мережі та здійснюється керує мережевими ресурсами. Об’єкт *Network* поєднується з об’єктами *NetworkResourcePool*, які задають мережеві ресурси, що використовуються в мережі . У даному випадку ресурсами виступають мостові крани, які обслуговують транспортні засоби на ділянках відвантаження. Кожному ресурсу задається вузол базового положення, який має належати до транспортної мережі.

Діаграма процесу моделювання роботи залізничного транспорту починається з елементу *source*, який генерує потік заявок (залізничних составів), що прибувають під навантаження на основну ділянку. Інтервали прибуття составів задаються за допомогою функції *myFunction*, яка генерує значення змінної *plainVar* згідно встановленого закону розподілу. За допомогою елементів *hold* в програмі реалізована зупинка транспортних засобів при перетинанні шляхів руху інших видів транспорту.. Об’єкт *queue* моделює чергу заявок, що чекають прийому об’єктами, наступними в заданій потоковій діаграмі.

Введення заявок у транспортну мережу виконується об’єктом

networkEnter. Цей елемент реєструє заявку в мережі та розміщує її в заданому вузлі мережі. Після цього заявка може переміщуватися в мережі за допомогою елементів *networkMoveTo*, де вказується вузол до якого відправляється заявка.

Після надходження заявки-подачі, в залежності від генерованої кількості вагонів у подачі (змінна *Podacha*) розподіляємо їх по ланцюгах обробки окремих вагонів (рис. 4.28).

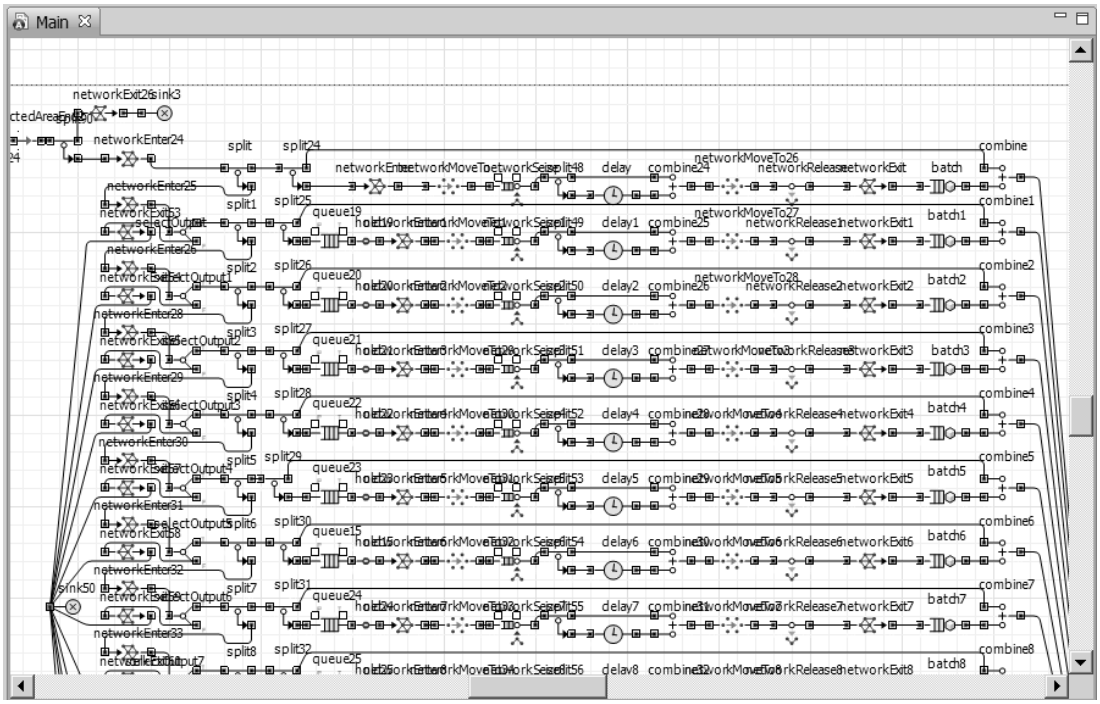

Рисунок 4.28 – Блок діаграми процесу моделювання завантаження. залізничного транспорту

Це здійснюється за допомогою елемента *split*, який утворює копію заявки та передає її до наступного ланцюга. При кожній передачі копії значення змінної *Podacha* зменшується на одиницю, та при досягненні нульового значення, копіювання припиняється. Елементи типу *split* також використовуються для генерації випадкової кількості вантажних місць у кожному вагоні.

Оригінал заявки при цьому очікує з’єднання з обробленими копіями елементом *combine* з метою створення анімації простою вагону під

навантаженням. Копії заявки-місця захоплює вільний ресурс – мостовий кран за допомогою елемента *networkSeize*. Цей об’єкт пересилає ресурс до заявки. Об’єкт *delay* затримує кран на час, який необхідний для захвату краном вантажу. Після того, як кран захватив вантаж, він за допомогою елементу *networkMoveTo* переміщається до заявки-вагону, що очікує завантаження.

Об’єкти *batch* об’єднують задану кількість заявок, що надійшли до нього в одну заявку-партію. В нашому випадку заявкою-партією виступає вагон, а вхідні заявки, які накопичуються елементом – вантажні місця.

Після того, як усі копії заявки-місця обслужені і згруповані в одну заявку-партію (вагон), вони об’єднуються із заявкою-оригіналом за допомогою об’єкта *combine*. Аналогічні операції проводяться з кожним вагоном у подачі. Далі заявки переміщаються до виходу з мережі і виводяться з діаграми процесу об’єктом *sink* (рис. 4.29).

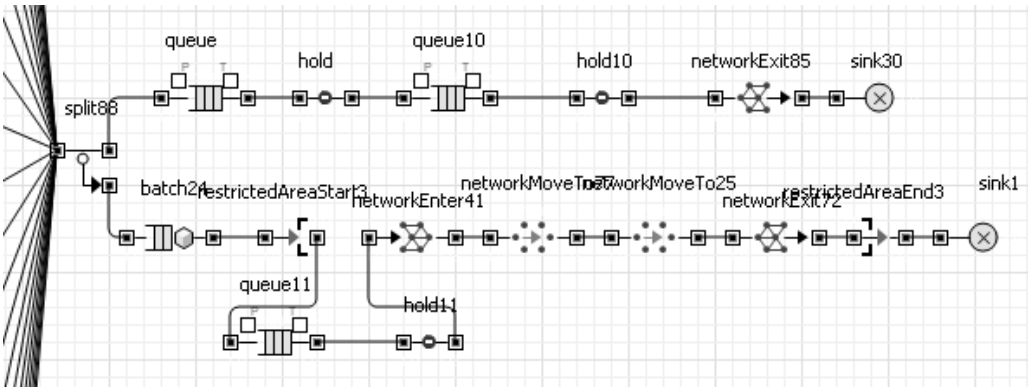

Рисунок 4.29 - Блок діаграми процесу моделювання реєстрації виходу залізничного составу з ділянки навантаження

У діаграмі процесу також були використані об’єкти типу *restrictedAreaStart* та *restrictedAreaEnd*. Елемент *restrictedAreaStart* визначає вхід в область діаграми процесу, в якій одночасно може знаходитися обмежена кількість заявок. У даній діаграмі процесу цей елемент використаний з метою уникнення зіткнення поїздів. Об’єкт *restrictedAreaEnd* визначає вихід з області, де може знаходитися обмежена кількість заявок.

Для відтворення руху автомобільного транспорту створена окрема діаграма процесу (рис. 4.30).

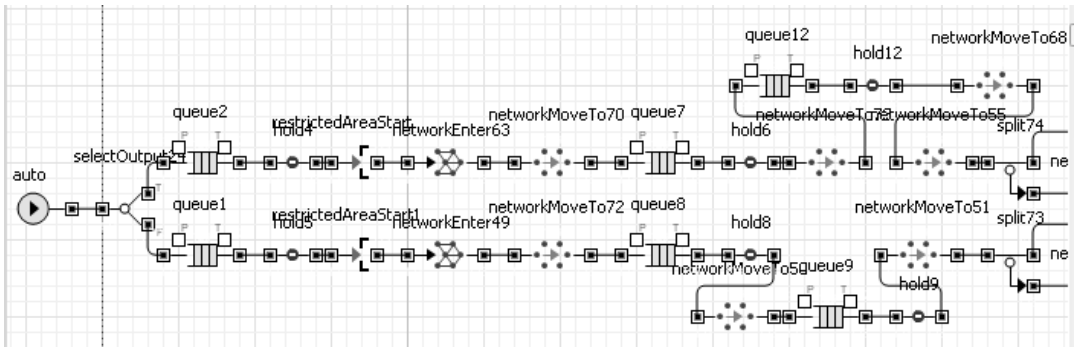

Рисунок 4.30 – Блок програми моделювання надходження автопоїздів

Потік автопоїздів генерується в новому об’єкті типу *sourse*, як окремий клас заявок *auto*. Створена заявка потрапляє до елементу *selectOutput*. Цей об’єкт відправляє вхідні заявки в один з двох вихідних портів в залежності від виконання заданої умови, якою виступає ймовірність відправлення автопоїзду під навантаження на віддалену ділянку. Ймовірність задається параметром *Veroyatnost*. Так при реалізації експерименту необхідно буде варіювати це значення, було створене текстове поле *editbox*, що пов’язане з параметром *Veroyatnost*, де можна задавати ймовірність надходження автопоїздів на віддалену ділянку.

При виході з об’єкту *selectOutput* заявки розподіляться на два потоки: потік автопоїздів, що прямує на основну ділянку навантаження та потік автопоїздів, що надходять на віддалену ділянку. Кожен з цих потоків рухається по окремому ланцюгу діаграми. За допомогою об’єктів типу *networkEnter* заявки вводяться у транспортну мережу і рухаються до фронтів навантаження об’єктами типу *networkMoveTo*. Потрапивши до блоку завантаження (рис. 4.31), за допомогою об’єктів *split* створюються копії заявки-місця, кількість яких дорівнюватиме кількості вантажних місць у автопоїзді – 4. Кожна копія обробляється аналогічно копіям заявок-місць у вагонах, алгоритм обробки яких було описано вище.

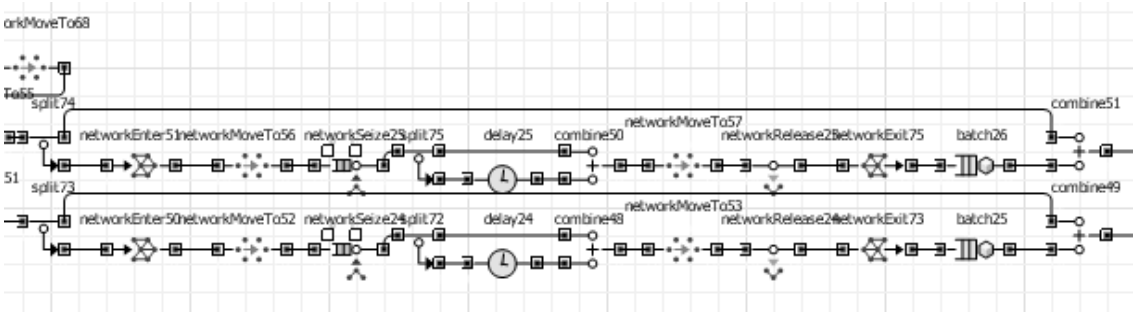

Рисунок 4.31 – Блок діаграми моделювання завантаження автопоїздів

Після того, як усі заявки місця обслуговані, вони відсилаються об'єктами типу *networkMoveTo* до об'єктів *networkExit* де вилучаються з транспортної мережі та виводяться з системи об'єктами *sink.*

На момент дослідження на базовому підприємстві «Запоріжсталь» основна частка автопоїздів (80%) завантажувалася на основній ділянці відвантаження готової продукції, а 20% – на віддаленій ділянці. Для визначення раціонального розподілу автотранспорту між фронтами навантаження було проведено експеримент за різної ймовірності надходження автопоїздів на віддалену ділянку відвантаження ГП. Отримані результати моделювання для автопоїздів наведені у таблицях 4.9 – 4.10.

Таблиця 4.9 – Час на завантаження автопоїздів на основній ділянці відвантаження ГП

Статистичні характеристики	Частка завантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Кількість спостережень, од.	6988	5175	3486	1805	0
Середнє значення простою, год	2,712	1,48	1,072	0,918	0
Мінімальне значення простою, год	0,501	0,501	0,501	0,501	0
Максимальне значення простою, год	19,508	7,903	4,569	4,195	0
Середньоквадратичне відхилення	2,457	1,002	0,603	0,458	0
Довірчий інтервал	0,058	0,027	0,02	0,021	0
Загальна тривалість простоїв, год	18949	7661	3738	1658	0

Таблиця 4.10 – Час на завантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП

Статистичні характеристики	Частка завантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Кількість спостережень, од.	1745	3428	5181	7181	8577
Середнє значення простою, год	0,635	0,682	0,731	0,928	1,07
Мінімальне значення простою, год	0,544	0,544	0,544	0,544	0,544
Максимальне значення простою, год	2,013	2,951	3,788	5,208	7,775
Середньоквадратичне відхилення	0,208	0,274	0,417	0,555	0,735
Довірчий інтервал	0,01	0,009	0,011	0,013	0,016
Загальна тривалість простоїв, год	1109	2339	4046	6667	9173

Результати моделювання за різної ймовірності надходження поїздів на віддалену ділянку відвантаження ГП наведені у таблицях 4.11 – 4.12.

Таблиця 4.11 – Час на завантаження поїздів на основній ділянці відвантаження ГП

Статистичні характеристики	Частка завантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Кількість спостережень, од.	725	737	721	730	729
Середнє значення простою, год	9,873	8,748	7,865	7,194	6,604
Мінімальне значення простою, год	2,908	2,833	2,88	2,614	2,577
Максимальне значення простою, год	20,133	18,169	14,974	14,21	11,453
Середньоквадратичне відхилення	3,088	2,674	2,05	1,904	1,532
Довірчий інтервал	0,225	0,193	0,15	0,138	0,111
Загальна тривалість простоїв, год	7158	6447	5671	5252	4814

Таблиця 4.12 – Час на завантаження поїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП

Статистичні характеристики	Частка завантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
Кількість спостережень, од.	638	630	637	629	629
Середнє значення простою, год	1,782	1,925	2,16	2,436	2,576
Мінімальне значення простою, год	0,629	0,629	0,629	0,629	0,629
Максимальне значення простою, год	4,23	4,907	6,435	6,478	6,813
Середньоквадратичне відхилення	0,71	0,803	0,981	1,092	1,131
Довірчий інтервал	0,055	0,063	0,076	0,085	0,088
Загальна тривалість простоїв, год	1137	1213	1376	1532	1620

Під час проведення експерименту змінювалася частка автопоїздів, що надходить на віддалену ділянку відвантаження ГП від 20% до 100%. Було встановлено, що за різної ймовірності змінюється середній час простою автопоїздів під навантаженням. Отже для визначення найбільш ефективного варіанту роботи системи треба визначити загальні витрати на відвантаження металопрокату, розрахунки будуть виконані у наступних розділах.

4.3 Удосконалення системи планування операторського обслуговування ТСЛС феросплавного виробництва

До феросплавного підприємства щоденно надходять значні обсяги агломерату, руди, вугілля, вапняку та інших корисних копалин. Для виконання процесу доставки використовується залізничний транспорт. Успішна організація руху матеріальних, інформаційних, фінансових потоків в системі «постачальники – залізниця – підприємство з виробництва феросплавів – споживачі» основується на логістичному підході і є складовою соціально-

економічної стабільності певного регіону. Ефективна взаємодія з операторами перевезень можлива за умови визначення потрібної кількості вагонів для здійснення постачань сировини та палива [101].

Частина від загального часу обороту вагонів на маршрутах доставки припадає на знаходження у постачальника сировини, частина – на рух і обробку составів на магістральних залізничних станціях прямування, частина – на знаходження на підприємстві з виробництва феросплавів. Розрахунок останньої складової є досить складною задачею.

Тривалість знаходження вагонів на феросплавному підприємстві визначається моментами часу передачі вагонів на станції примикання магістральних залізничних колій. Вона залежить від транспортно-технологічного процесу обробки вагонів та технології вантажопереробки, погодних умов. В свою чергу, ці процеси обумовлені властивостями вантажу та облаштуванням вантажних пунктів.

Вагони, що надходять на підприємство, в залежності від виду вантажу, розподіляються на декілька пунктів вивантаження: контейнерна дільниця (КД), підземні бункери, склад вапняку, закритий склад шихти цеху №1 (СШ 1 закр.), відкритий склад шихти цеху №1 (СШ 1 відкр.), шихтове відділення цеху №2 (ШВ 2), шихтове відділення цеху №3 (ШВ 3), шихтове відділення цеху №4 (ШВ 4).

Статистичні дані спостережень з надходження різних видів вантажу на 8 вантажних пунктів, а також дані з погодних умов, зібрані за період листопад 2013 р. – червень 2014 р., наведені у додатку В.

Була проведена статистична обробка зібраних даних, визначено основні статистичні характеристики: середнє вибіркове, стандартне відхилення емпіричного розподілу, коефіцієнт варіації. Перевірка нормальності розподілу досліджуваних ознак виконувалася за допомогою критерію U розмаху варіювання. Згідно [101] для $n = 24$ і $\alpha = 0{,}05$ визначаємо критичні межі критерію $U_1(\alpha) = 3{,}34$ і $U_2(\alpha) = 4{,}71$. Так як $U_1(\alpha) = 3{,}34 < U = 4{,}118 < U_2(\alpha) = 4{,}71$, то робимо висновок, що результативна

ознака відповідає нормальному закону розподілу.

Для виявлення наявності аномальних значень статистичні дані всіх ознак розташовуємо у порядку зростання значень. Для перевірки значимості підозрілих експериментальних даних використаємо критерій Шовене. Згідно з цим критерієм елемент вибірки x_i об'ємом n є викидом, якщо ймовірність його відхилення від середнього значення не перевищує $1 / (12 \cdot n)$. Для подальшого аналізу викиди замінено на середні значення відповідних ознак.

Шляхом нормалізації діапазон зміни значень числової ознаки перетворено в інший діапазон, більш зручний для застосування до даних тих чи інших аналітичних алгоритмів, а також узгоджено діапазони змін різних ознак [103].

Якщо в даних є відносно рідкісні викиди, які набагато перевищують типовий розкид, саме вони визначать згідно попередній формулі масштаб нормалізації [104]. Це призведе до того, що основна маса значень нормованої змінної x'_i зосередиться поблизу нуля: $| x'_i | \ll 1$. У цьому випадку надійніше використовувати для нормалізації статистичні характеристики даних – середнє і дисперсію. Для кожного значення ознаки x'_i розраховується перетворення:

$$x'_i = \frac{x_i - x_{cp}}{\sigma_x}. \qquad (4.9)$$

Результати статистичної обробки та нормалізації даних для всіх ознак вибірки наведено у додатку В.

4.3.1 Формування концептуальної моделі

Виконаємо розрахунок кореляційної матриці, що дасть можливість виявити несуттєві та мультиколінеарні фактори. Прийнято, що фактори, у яких коефіцієнт кореляції $r(yx_i) \le 0{,}1$, вважаються несуттєвими і з подальшого розгляду мають бути виключені. Колінеарними вважаємо такі фактори x_i, для яких виконується умова $r(x_i x_m) \ge 0{,}8$. У цьому випадку один із факторів

виключається із розгляду, причому залишимо фактор, який має більш тісний зв'язок з результативною ознакою. Обчислення матриці парних коефіцієнтів були виконані у програмі STATISTICA. Результати розрахунку наведені у таблиці 4.13.

Аналогічно проводимо розрахунок матриць коефіцієнтів кореляції для вибірки із замінениими аномальними значеннями на середні, та нормалізованої вибірки [105].

Таблиця 4.13 – Матриця коефіцієнтів кореляції для первинної вибірки

Ознаки	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}
y	1,00	0,17	0,74	0,40	0,59	0,57	0,30	0,25	0,42	0,66	0,40	0,18	-0,18	0,36	0,53	0,18	0,25	0,18	0,09	0,72
x_1		1,00	0,37	0,07	0,39	0,38	0,20	0,32	0,04	0,37	0,07	-0,06	0,08	0,34	0,15	1,00	0,16	0,28	-0,44	0,10
x_2			1,00	0,22	0,67	0,64	0,28	0,28	0,61	0,65	0,22	0,01	-0,15	0,66	0,59	0,38	0,34	0,32	-0,18	0,33
x_3				1,00	0,23	0,22	-0,29	-0,35	0,12	0,16	1,00	0,13	-0,12	0,23	0,24	0,07	-0,28	0,29	0,11	0,05
x_4					1,00	0,58	0,11	0,34	0,47	0,78	0,23	0,12	0,17	0,46	0,46	0,39	0,45	0,50	-0,22	0,28
x_5						1,00	0,04	0,03	0,56	0,55	0,21	0,18	-0,24	0,61	0,89	0,38	0,02	0,31	-0,08	0,30
x_6							1,00	0,65	0,29	0,25	-0,29	0,25	0,01	0,09	0,05	0,22	0,62	0,24	-0,29	0,14
x_7								1,00	0,15	0,24	-0,34	0,02	0,33	0,08	-0,07	0,33	0,85	0,12	-0,09	0,26
x_8									1,00	0,62	0,12	0,35	-0,05	0,66	0,74	0,04	0,21	0,26	-0,17	0,04
x_9										1,00	0,16	0,26	-0,02	0,42	0,54	0,38	0,21	0,12	-0,30	0,50
x_{10}											1,00	0,12	-0,12	0,23	0,23	0,07	-0,27	0,29	0,12	0,05
x_{11}												1,00	0,18	0,03	0,38	-0,06	-0,10	0,15	-0,20	0,06
x_{12}													1,00	-0,14	-0,22	0,06	0,27	0,03	0,02	-0,23
x_{13}														1,00	0,53	0,33	0,05	0,30	-0,13	0,10
x_{14}															1,00	0,15	-0,09	0,26	-0,08	0,21
x_{15}																1,00	0,17	0,28	-0,44	0,11
x_{16}																	1,00	0,35	-0,06	0,05
x_{17}																		1,00	-0,30	-0,32
x_{18}																			1,00	0,14
x_{19}																				1,00

Як бачимо з таблиці 4.13 несуттєвим фактором виступає x_{18} (кількість днів з опадами). Мультиколінеарні фактори x_1 і x_{15}, x_3 і x_{10}, x_5 і x_{14}, x_7 і x_{16}. З них виключаємо x_1 (контейнерна дільниця), x_{10} (вапняк), x_{14} (кокс) та x_{16} (руда).

Концептуальна модель для первинної вибірки матиме вигляд:

$$y = f(x_2, \dots, x_9, x_{11}, \dots, x_{13}, x_{15}, x_{17}, x_{19}). \qquad (4.10)$$

Для вибірки, в якій викиди було замінено на середні значення

відповідних ознак несуттєвими є фактори x_1, x_2, x_7, x_8, x_{13}, x_{16}, x_{17}.

Мультиколінеарними виступають x_3 і x_{10}, x_5 і x_{14}. Виключаємо ознаки x_{10} та x_{14}. Отримаємо концептуальну модель:

$$y = f(x_3, \ldots, x_6, x_9, x_{11}, x_{12}, x_{15}, x_{18}, x_{19}). \quad (4.11)$$

Для вибірки з нормалізованими значеннями згідно матриці коефіцієнтів кореляції несуттєвий фактор $-x_{18}$; мультиколінеарні фактори x_1 і x_{15}, x_3 і x_{10}, x_5 і x_{14}, x_7 і x_{16}. З них виключаємо x_1, x_{10}, x_{14} та x_{16}.

Отримаємо таку ж концептуальну модель, як і для первинної вибірки:

$$y = f(x_2, \ldots, x_9, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}, x_{17}, x_{19}). \quad (4.12)$$

Наступним етапом виконується побудова регресійної моделі терміну знаходження вагонів на під'їзній колії.

4.3.2 Побудова регресійних моделей та оцінка якості регресійних залежностей

Розрахунок лінійної регресійної залежності для кожної концептуальної моделі, отриманої в результаті аналізу виконуємо у системі STATISTICA. Для кожної моделі розраховуються регресійні коефіцієнти, визначається їх значимість за t - критерієм Стьюдента, коефіцієнти кореляції та детермінації, стандартна та відносна похибки апроксимації, розрахункове значення F - критерію Фішера. Рівняння лінійної множинної регресії для первинної вибірки має вигляд:

$$\begin{aligned} y = {} & 7{,}872 + 0{,}219x_2 + 0{,}087x_3 + 0{,}022x_4 + 0{,}019x_5 + \\ & + 0{,}108x_6 - 0{,}036x_7 + 0{,}009x_8 - 0{,}02x_9 - 0{,}062x_{11} + \\ & + 0{,}176x_{12} - 0{,}027x_{13} - 0{,}022x_{15} - 0{,}001x_{17} + 0{,}582x_{19}). \end{aligned} \quad (4.13)$$

Рівняння для вибірки з заміною аномальних спостережень на середні значення:

$$\begin{aligned} y = {} & 9,668 + 0,08x_3 - 0,016x_4 + 0,022x_5 + \\ & +0,071x_6 + 0,005x_9 - 0,225x_{11} - 0,023x_{12} - \\ & -0,018x_{15} + 0,173x_{18} + 0,148x_{19}) \end{aligned} \qquad (4.14)$$

Згідно розрахунків, рівняння множинної регресії вибірки з нормалізованими значеннями не має вільного члену:

$$\begin{aligned} y = {} & 0,419x_2 + 0,319x_3 + 0,24x_4 + 0,161x_5 + \\ & +0,363x_6 - 0,19x_7 + 0,109x_8 - 0,213x_9 - \\ & -0,053x_{11} + 0,106x_{12} - 0,199x_{13} - 0,107x_{15} - \\ & -0,001x_{17} + 0,606x_{19}) \end{aligned} \qquad (4.15)$$

Для перевірки значимості рівняння регресії та адекватності рівняння регресії вихідним даним використовується *F*-критерій Фішера. Розрахункові значення порівнюємо з табличними, що визначаються згідно кількості ступенів вільності більшої та меншої дисперсії. У нашому випадку умові адекватності $F > F_{табл}$ не задовольняє друга вибірка: $F = 1,46 < F_{табл} = 2,65$. Отже ця регресійна модель виявилася неадекватною.

Регресійна модель є адекватною вихідним даним у випадку, коли розрахункове значення граничної ймовірності прийняття гіпотези не перевищує рівень вибраний рівень значимості. З розглянутих моделей при рівні значимості 0,05 значимими та адекватними вважаються перша та третя моделі (p = 0,00029 < 0,05). Найбільш якісною можемо вважати модель для третьої вибірки, що має мінімальну похибку апроксимації (σ = 0,071).

Для перевірки значимості факторів регресії використовуємо *t*-критерій Стьюдента. Якщо розрахункове значення граничної ймовірності не перевищує прийнятий рівень значимості 0.05, то фактор вважається значимим. Для першої вибірки значимими вважаються фактори x_2 , x_3, x_6, x_{19} (для них відповідно

значення *p-level* 0,0158; 0,0087; 0,0492; 0,0029). Для другої вибірки значимі фактори x_3 і x_6 (*p-level* 0,0321; 0,0395). Для третьої вибірки: фактори x_2, x_3, x_6, x_{19} (*p-level* 0,0158; 0.0087; 0,0492; 0,0029).

Результати розрахунків для третьої вибірки приведені у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Результати розрахунку лінійної регресійної моделі

Критерій оцінювання (при рівні значимості α = 0,05)	Значення
F-критерій Фішера (*F)*	12,76
Табличне значення критерію Фішера ($F_{табл.}$)	2,65
Стандартна помилка оцінювання регресії (σ)	0,071
Гранична імовірність прийняття гіпотези (*p*)	0,00029

Для перевірки нормальності розподілу залишків побудуємо нормальний імовірнісний графік залишків для третьої вибірки (рис. 4.26)

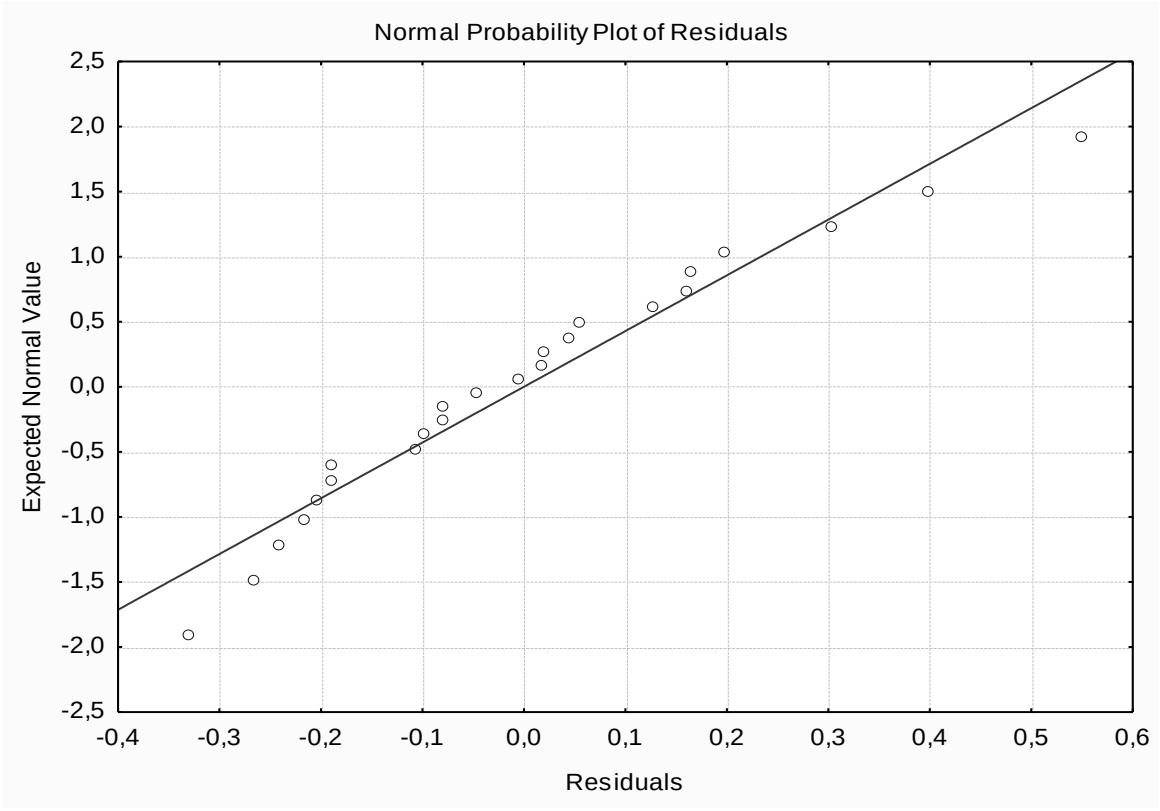

Рисунок 4.26 – Графік залишків регресії вибірки з нормалізованими значеннями ознак

Згідно аналізу залишків можна стверджувати, що регресійна модель підігнана добре, ряд залишків регресії має нормальний розподіл.

Система підтримки прийняття рішень [106] щодо визначення потрібної кількості власних вагонів для забезпечення процесу доставки вантажів до металургійного підприємства з виробництва феросплавів може бути удосконалена шляхом уточнення розрахункового часу знаходження вагонів на під'їзній колії за допомогою розробленої моделі.

4.4 Висновки по розділу 4

Розділ присвячено розробці моделей транспортно-складських процесів металургійних підприємств.

1. Розроблено концептуальну модель ТСЛС вивантаження, визначена її структура, основні елементи, параметри і змінні. Відібрані основні вихідні дані моделі, проведено їх статистичний аналіз, встановлено закони розподілу яким вони підпорядковуються. Виконано регресійний аналіз, в результаті якого були отримані емпіричні лінії регресії залежності тривалості розігріву вантажів від температури навколишнього середовища на момент початку їх розігріву.

2. Розроблено імітаційну модель ТСЛС вивантаження вантажів, що надходять на підприємство. Представлена модель обирає режим функціонування з урахуванням зовнішніх факторів – погодних умов та дозволяє визначити раціональні параметри роботи системи такі як кількість камер розігріву та кількість використовуваних локомотивів. За допомогою запропонованої моделі можлива оптимізація роботи ТСЛС вивантаження за різними критеріями – мінімальною довжиною черги транспортних засобів, що очікують обслуговування, мінімальним часом простою вагонів, мінімальною кількістю вчасно необслугованих вагонів та ін.

3. Досліджено особливості роботи транспортно-складських систем металургійних підприємств в умовах збільшення частки перевезень готової

продукції автомобільним транспортом у порівнянні з залізничним. Розроблена імітаційна модель ТСЛС навантаження готової продукції, що враховує взаємодію автомобільного та залізничного транспорту. В ході експерименту шляхом варіювання кількості автопоїздів на фронтах навантаження було встановлено, що при збільшенні частки відвантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП значно скорочується середній час простою рухомого составу.

4. Удосконалено систему підтримки прийняття рішень щодо визначення потрібної кількості вагонів для забезпечення процесу доставки вантажів до металургійного підприємства з виробництва феросплавів, яка спирається на результати планування часу знаходження вагонів на під'їзній колії за допомогою розробленої моделі. Отримана регресійна модель дозволяє планувати транспортний процес, та, відповідно, встановлювати тривалість обороту вагонів на маршрутах перевезень й потрібну кількість вагонів робочого парку. Відсутність надлишкової кількості вагонів зменшує витрати на їх обслуговування та підвищує ефективність перевезень.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВПРОВАДЖЕНИХ ЗАХОДІВ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВОСТІ РОБОТИ ТСЛС МП

Підвищення ефективності ТСЛС може бути досягнуте за рахунок зменшення витрат на її функціонування шляхом скорочення простою транспортних засобів. Дослідження показали, що заходи по підвищенню ефективності роботи ТСЛС МП необхідно проводити в декілька етапів.

Перший етап передбачає зниження тривалості простоїв вагонів шляхом оперативного розподілу за вантажними фронтами з урахуванням переробної спроможності фронтів в умовах різкої зміни температури повітря навколишнього середовища.

На другому етапі на основі розробленої імітаційної моделі встановлюється раціональна кількість використовуваних ресурсів (локомотивів та камер розморожування) при яких функціонування ТСЛС буде максимально ефективним. Загальні витрати на роботу ТСЛС визначаються з урахуванням витрат на розігрівання вантажів, витрат на плату за користування вагонами та витрат на використання локомотивів.

На третьому етапі коригується режим роботи автомобільного та залізничного транспорту на фронтах навантаження ГП. Розроблена імітаційна модель функціонування ТСЛС МП дозволяє встановити раціональний розподіл автотранспорту між фронтами навантаження, за рахунок чого зменшується простій транспортних засобів готової продукції.

5.1 Аналіз результатів застосування методу оперативного коригування плану розподілу вантажів в умовах складної транспортної системи металургійного підприємства

В результаті застосування динамічної транспортної задачі в умовах

складної транспортної системи металургійного підприємства був отриманий оптимальний розподіл подач вантажів на фронти вивантаження.

Загальні мінімальні витрати часу на вивантаження всіх пакетів подач з урахуванням фронту вивантаження, а також порівняння отриманих значень з фактичними наведено у табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняння отриманих розрахункових значень з фактичними

Фронт вивантаження	Фактичні показники			Розрахункові показники		
	Кіль-кість вагонів	Кількість подач	Загальний простій, год.	Кіль-кість вагонів	Кількість подач	Загальний простій, год.
«Бункери» колія №2	72	12	312,08	74	9	280,36
«Бункери» колія №4	15	6	51,25	19	3	11,41
Рудна	140	15	136,58	137	10	121,74
Вугільна	16	2	18,67	17	2	12,3
Підбіркова	45	14	110,33	45	5	71,18
Усього	288	49	628,92	288	29	496,99

Різниця кількості вагонів на вантажних фронтах у фактичному і розрахунковому варіанті незначна. Цю різницю легко можна буде поповнити в менш напружений період, тобто при покращенні температурних умов, коли не буде необхідності розігрівати вантажі. А отже, можемо вважати, що потреби всіх вантажних фронтів задоволено.

Різниця між фактичною та розрахунковою тривалістю простоїв вагонів на визначених вантажних фронтах зображена на рис. 5.1.

При використанні даного методу не враховується, що в умовах безперервного виробництва нові партії вантажів можуть надходити ще до розподілення та вивантаження попередніх. Цей фактор може значно вплинути на переробну спроможність вантажних фронтів, а отже і на розподіл пакетів подач по фронтам. Тому надалі планується удосконалити даний метод

оптимізації процесу вивантаження вагонів.

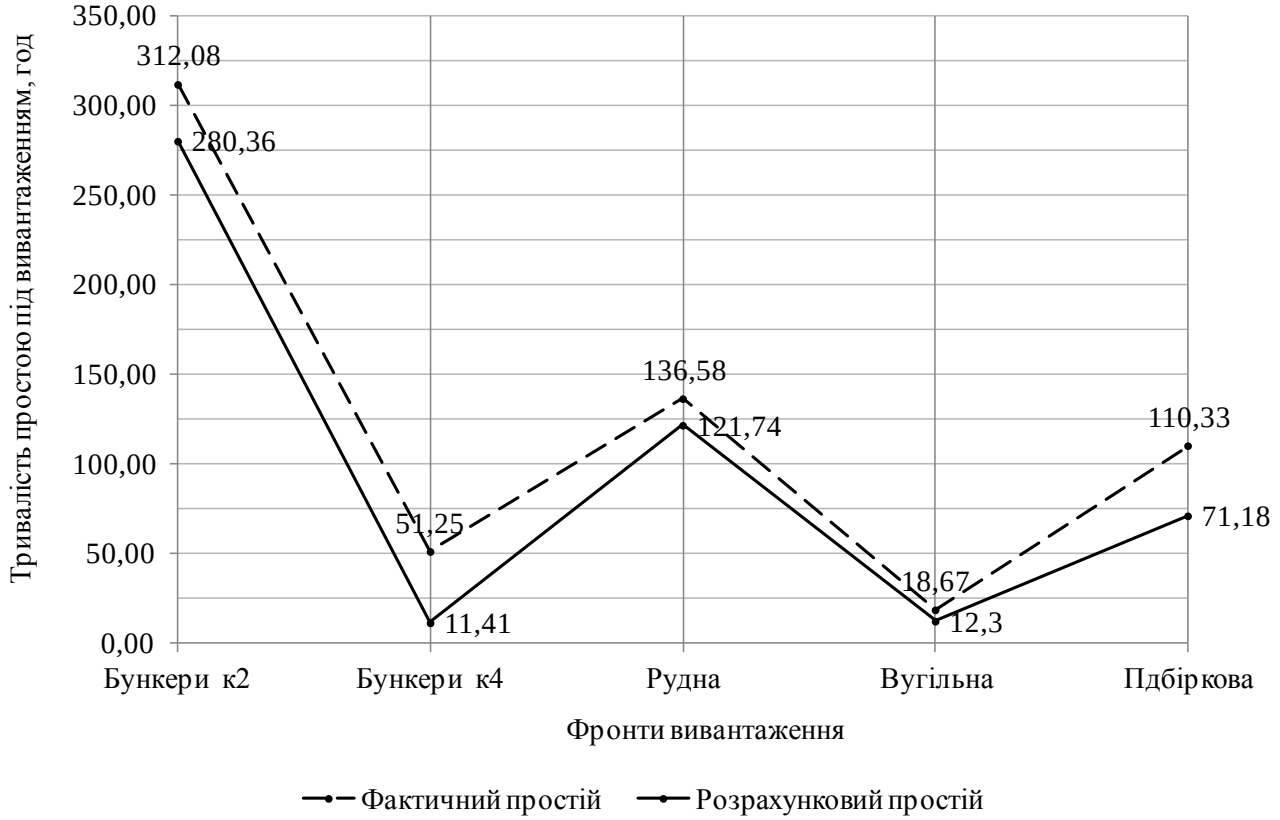

Рисунок 5.1 – Графік зміни тривалості загального простою вагонів на вантажних фронтах

В результаті застосування методу оперативного коригування плану розподілу вантажів простій вагонів скоротився на кожному фронті вивантаження: «Бункери» колія №2 на 0,55 год, «Бункери» колія №4 – 2,82 год; Рудна – 0,09 год; Вугільна – 0,44 год; Підбіркова – 0,87 год. В середньому, тривалість простоїв вагонів на фронтах вивантаження скоротилася на 0,46 год на один вагон за добу.

Загальна вартість простою вагонів під розвантаженням визначається за формулою (5.1):

$$C_{\text{пр}} = t_{\text{вант}} \cdot c_{\text{пр}} \qquad (5.1)$$

де $t_{\text{вант}}$ – тривалість простою вагонів під вантажними операціями, год;

$c_{\text{пр}}$ – вартість однієї години простою вагона, грн. Вартість однієї години

простою вагона на комбінаті ПАТ «Запоріжсталь» станом на січень 2015 року складала 12,04 грн/год.

Отже вартість простою вагонів, що надійшли на підприємство за добу 06.01.2015р. фактично склала:

$$C_{\text{пр}}^{\text{факт}} = 628{,}92 \cdot 12{,}04 = 7572{,}16 \text{ грн.}$$

При застосуванні запропонованого вище способу розподілення вантажів вартість простою цих же вагонів становитиме:

$$C_{\text{пр}}^{\text{розр}} = 12{,}04 \cdot 496{,}99 = 7583{,}76 \text{ грн.}$$

Визначаємо економію витрат на простій вагонів під розвантаженням, що прибули за одну добу (5.2):

$$E_{\text{доб}} = C_{\text{пр}}^{\text{факт}} - C_{\text{пр}}^{\text{розр}} \qquad (5.2)$$

$$E_{\text{доб}} = 7583{,}76 - 5983{,}76 = 1588{,}4 \text{ грн.}$$

За рахунок більш раціонального розподілу вагонів за подачами з урахуванням переробної спроможності вантажних фронтів, кількість подач значно зменшилася, що дає змогу скоротити тривалість простою вагонів в періоди перевантаження транспортної системи підприємства. При застосуванні даного методу можемо отримати економію у розмірі 1588,4 грн (21%) на добу.

5.2 Аналіз результатів моделювання та визначення економічної складової функціонування ТСЛС МП вивантаження

Розроблена імітаційна модель ТСЛС вивантаження дозволяє встановити раціональну кількість транспортних і допоміжних ресурсів з урахуванням впливу зовнішніх факторів.

Експеримент проводився при різних значеннях таких параметрів як кількість камер розігріву та кількість використовуваних локомотивів. В результаті моделювання була встановлена середня тривалість простоїв вагонів, частка використання локомотивів, а також залишок неопрацьованих вагонів за різних режимів роботи системи. З урахуванням цих факторів необхідно визначити загальні витрати функціонування ТСЛС вивантаження при різних значеннях змінних параметрів.

Загальні витрати підприємства на функціонування ТСЛС вивантаження визначаються за формулою:

$$С_{тслс}^{вивант} = C_{пл} + C_{розігр} + C_{лок}, \quad (5.3)$$

де $C_{пл}$ – витрати на плату за користування вагонами в ТСЛС вивантаження, грн.;

$C_{розігр}$ – витрати на розігрів вантажів, що змерзлися, грн;

$C_{лок}$ – витрати на експлуатацію локомотивів в ТСЛС вивантаження, грн;

Витрати на на плату за користування вагонами визначаються за формулою:

$$C_{пл} = n_{под} \cdot N_{ваг} \cdot С_{ваг} \cdot t_{пр} \cdot (n_{необсл}/100 + 1), \quad (5.4)$$

де $n_{под}$ – кількість подач, що надійшли з вантажем на підприємство, од;

$N_{ваг}$ – кількість вагонів у подачі, $N_{ваг}$ = 15 вагонів;

$С_{ваг}$ – вартість вагоно-години, $N_{ваг}$ = 28,25 грн/год;

$t_{пр}$ – середній час користування вагоном, год.

$n_{необсл}$ – частка необслугованих вагонів,%.

Витрати на розігрів вантажів визначаються за формулою:

$$C_{розігр} = q_{д.газ} \cdot n_{кам} \cdot С_{пр.газ} \cdot t_{розігр} \cdot k_{пр}, \quad (5.5)$$

де $q_{д.газ}$ – витрата доменного газу на 1 камеру за годину, м^3/год;

$n_{кам}$ – кількість камер розігріву, що експлуатуються;

$С_{пр.газ}$ – вартість природного газу для промислових підприємств;

$t_{розігр}$ – тривалість роботи камер розігріву, год;

$k_{пр}$ – коефіцієнт приведення калорійності доменного газу до природного.

За даними підприємства витрата доменного газу на 1 камеру становить $q_{д.газ}$ = 3000 м^3/год, вартість природного газу складає $С_{пр.газ}$ = 10893,6 грн/ м^3, калорійність природного газу у 8 разів вища за калорійність доменного газу, отже $k_{пр}$ = 0,125.

Витрати на експлуатацію локомотивів в ТСЛС вивантаження визначаються за формулою:

$$C_{лок} = n_{лок} \cdot c_{лок} \cdot t_{лок}, \quad (5.6)$$

де $n_{лок}$ – кількість локомотивів в експлуатації;

$c_{лок}$ – вартість локомотиво-години, грн/год. За даними підприємства на момент дослідження склала 582 грн/год;

$t_{лок}$ – тривалість роботи локомотивів. В нашому випадку експеримент триває 5 діб, отже $t_{лок}$ = 120 год.

Результати розрахунків за формулами (5.3 – 5.6) для різних варіантів роботи камер та локомотив наведені у таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Розрахунок витрат досліджуваної ТТС підприємства за 5 діб

№ п/п	Кількість локомотивів, $n_{лок}$	Кількість камер $n_{кам}$	Витрати на використання локомотивів, $В_{лок}$, грн	Витрати на користування вагонами, $В_{ваг}$, грн	Витрати на розігрів вантажів, $В_{розігр}$, грн	Загальні витрати, $В_{заг}$, грн
1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	69846	2934738	490212	3494796
2	2	1	139692	2777153	490212	3407057
3	3	1	209538	2834054	490212	3533804
4	4	1	279384	2820341	490212	3589937

Продовження таблиці 5.2

1	2	3	4	5	6	7
5	5	1	349230	2871798	490212	3711240
6	1	2	69846	2410798	980424	3461068
7	2	2	139692	1959693	980424	3079809
8	3	2	209538	1902051	980424	3092013
9	4	2	279384	1923119	980424	3182927
10	5	2	349230	1870358	980424	3200012
11	1	3	69846	1905756	1470636	3446238
12	2	3	139692	1310162	1470636	2920490
13	3	3	209538	1228339	1470636	2908513
14	4	3	279384	1210514	1470636	2960534
15	5	3	349230	1157817	1470636	2977683
16	1	4	69846	1715104	1960848	3745798
17	2	4	139692	1002756	1960848	3103296
18	3	4	209538	937644	1960848	3108030
19	4	4	279384	914799	1960848	3155031
20	5	4	349230	929917	1960848	3239995

Графічне інтерпретація результатів моделювання ТСЛС вивантаження наведена на рисунку 5.2.

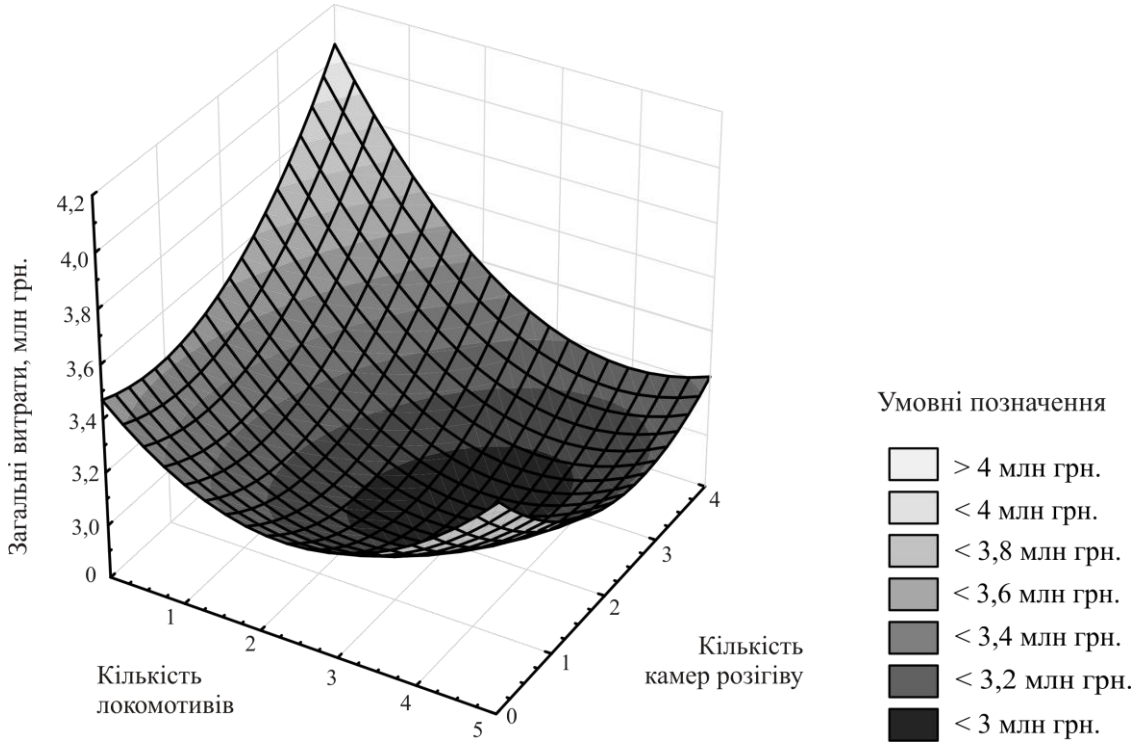

Рисунок 5.2 – Поверхня значень загальних витрат досліджуваної ТСЛС вивантаження

Аналіз результатів моделювання показав, що найбільш економічний режим функціонування ТСЛС на період дослідження досягається при використанні в роботі трьох локомотивів та трьох камер розігріву. Це свідчить про доцільність скорочення кількості локомотивів на 1 одиницю, за рахунок чого можливе зниження витрат на функціонування ТСЛС на 2%. Також можливий варіант роботи двох локомотивів при трьох камерах розігріву. Встановлення четвертої камери не є доцільним. Можливість врахування прогнозу температури повітря в розробленій моделі дозволяє коригувати режим функціонування ТСЛС, за рахунок чого досягається більш ефективне планування параметрів роботи системи.

5.3 Економічна доцільність заходів щодо вдосконалення ТСЛС відвантаження готової продукції

Запропонована імітаційна модель функціонування ТСЛС навантаження дає можливість встановити раціональний розподіл автотранспорту між найбільш інтенсивними фронтами відвантаження ГП з урахуванням роботи залізничного транспорту. Під час проведення експерименту змінювалася частка автопоїздів, що надходить на віддалену ділянку навантаження від 20% до 100%. В ході експерименту було встановлено, що при збільшенні частки відвантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження ГП значно скорочується середній час простою рухомого составу.

При встановленні раціонального розподілу використання автотранспорту між даними фронтами необхідно врахувати більшу вартість внутрішньоскладського переміщення готової продукції до менш інтенсивно працюючого фронту.

Для визначення більш ефективного варіанту роботи автомобільного та залізничного транспорту на основній та віддаленій ділянках відвантаження ГП треба визначити загальні витрати на відвантаження металопрокату.

Загальні витрати на функціонування ТСЛС МП навантаження визначаються за формулою:

$$C_{\text{тслс}}^{\text{навант}} = C_{\text{ваг}}^{\text{вант}} + C_{\text{авто}}^{\text{вант}} + C_{\text{пер}}, \quad (5.7)$$

де $C_{\text{ваг}}^{\text{вант}}$ – витрати на плату за користування вагонами в ТСЛС навантаження, грн;

$C_{\text{авто}}^{\text{вант}}$ – вартість простоїв автопоїздів в ТСЛС навантаження, грн;

$C_{\text{пер}}$ – витрати на переміщення металопрокату, грн.

Вартість простоїв ТЗ під навантаженням розраховується за формулою:

$$C^{\text{вант}} = t_{\text{пр}}^{\text{авто(ваг)}} \cdot c_{\text{а/г(в/г)}}, \quad (5.7)$$

де $c_{\text{лок}}$ – вартість локомотиво-години, грн/год;

$t_{\text{пр}}^{\text{ваг}}$ – час простою вагону під завантаженням, год;

$t_{\text{пр}}^{\text{авто}}$ – час простою автопоїзду під завантаженням, год;

$c_{\text{в/г}}$ – вартість вагоно-години, грн;

$c_{\text{а/г}}$ – вартість автомобіле-години, грн;

Вартість переміщення металопрокату на віддалену ділянку навантаження знаходиться за формулою:

$$C_{\text{пер}} = p \cdot Q_{\text{річ}} \cdot c_{1\text{т}}, \quad (5.8)$$

де p – частка автопоїздів, що завантажуються на віддаленій ділянці відвантаження, %;

$Q_{\text{річ}}$ – річний об’єм перевезень автомобільним транспортом, т;

$c_{1\text{т}}$ – вартість переміщення однієї тонни металопрокату на віддалену ділянку навантаження, грн.

На момент дослідження вартість вагоно-години на базовому підприємстві складала 14,29 грн., вартість автомобіле-години – 34,15 грн. Вартість

переміщення однієї тонни металопрокату з основної ділянки відвантаження ГП на віддалену складала 0,5 грн. Річний об'єм перевезень автомобільним транспортом склав 175200 т.

Результати розрахунків вартості функціонування ТСЛС МП відвантаження готової продукції при різних значеннях частки використання автомобільного транспорту на фронтах навантаження наведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Розрахунок вартості відвантаження металопрокату в умовах збільшення частки автомобільних перевезень

Показники	Ймовірність завантаження автопоїзду на віддаленій ділянці відвантаження				
	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Вартість простою автопоїзду на ОД, грн	647116	261612	127641	56595	0
Вартість простою автопоїзду на ВД, грн	37856	79876	138150	227677	313268
Вартість простою вагону на ОД, грн	102291	92129	81033	75047	68792
Вартість простою вагону ВД, грн	16244	17329	19662	21898	23151
Вартість переміще-ння металопрокату на ВД, грн	17520	35040	52560	70080	87600
УСЬОГО	821027	485986	419046	451297	492811

Згідно розрахунків встановлено, що при збільшенні обсягу відвантажень автомобільним транспортом на віддаленій ділянці витрати на простої транспортних засобів на основній ділянці знижуються. В такому випадку зростають витрати на простій ТЗ на віддаленій ділянці, проте вони порівняно незначні. Також маємо додаткові витрати на переміщення металопрокату.

На основі таблиці 5.3 будуємо графік зміни вартості завантаження при різних ймовірностях завантаження автопоїздів на віддаленій ділянці відвантаження (рис.5.3).

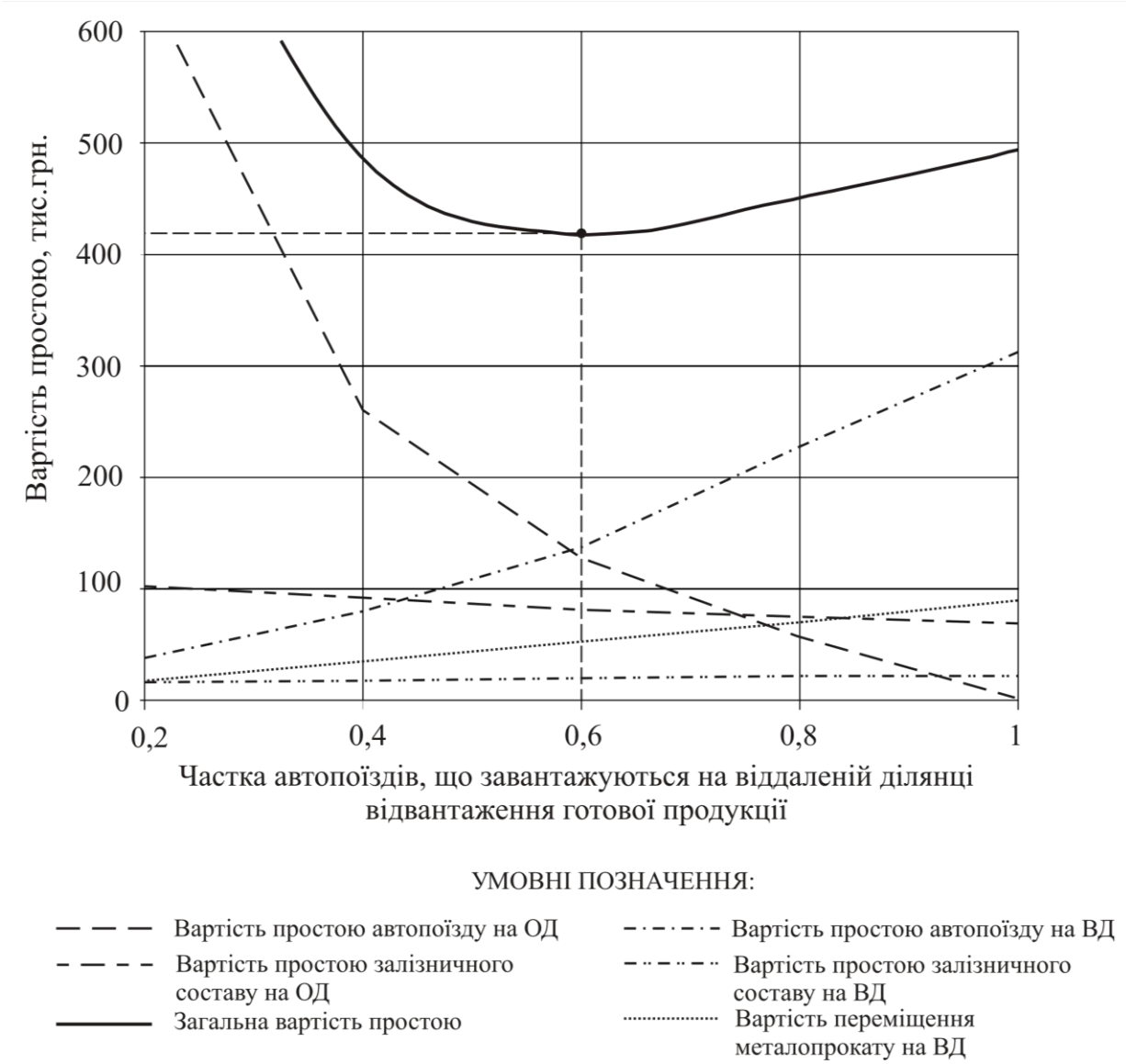

Рисунок 5.3 – Зміна вартості відвантаження готової продукції

З графіку видно, що найменші витрати на функціонування ТСЛС навантаження досягаються у випадку, коли більша частина автопоїздів (60% від загального обсягу автоперевезень) завантажується на віддаленій ділянці відвантаження готової продукції. За результатами роботи окремого автоперевізника ТОВ «Мета-Транс» при запропонованому варіанті функціонування системи була отримана економія у розмірі 51 тис. грн. Загальна економічна доцільність впровадження розроблених методів та моделей підтверджується актами впровадження на підприємствах галузі.

5.4 Висновки по розділу 5

Розділ присвячений техніко-економічній оцінці розробок та їх практичному впровадженню. Підвищення ефективності ТСЛС досягнуто за узагальнюючим економічним критерієм.

1. За рахунок використання методу оперативного коригування плану розподілу вантажів, що надходять на металургійне підприємство в холодний період року виконується оптимізація функціонування транспортної системи в результаті чого можливе зниження витрат на плату за користування вагонами за цей час на 21%.

3. Проведено аналіз загальних витрат при різних варіантах роботи ТСЛС вивантаження. Встановлено, що найбільш економічний режим функціонування транспортно-складської системи вивантаження досягається при використанні в роботі трьох локомотивів та трьох камер розігріву. Запропонована імітаційна модель ТСЛС вивантаження дозволила знизити витрати на функціонування даної системи на 2%, що в умовах підприємства ПАТ «Запоріжсталь» склала 35 тис. грн. Також можливий варіант роботи двох локомотивів при трьох камерах розігріву. Встановлення четвертої камери не є доцільним.

3. Запропонована імітаційна модель функціонування ТСЛС навантаження дає можливість встановити раціональний розподіл автотранспорту між найбільш інтенсивними фронтами відвантаження ГП з урахуванням роботи залізничного транспорту. Згідно з отриманими результатами найменші витрати на функціонування ТСЛС навантаження досягаються у випадку, коли більша частина автопоїздів (60% від загального обсягу автоперевезень) завантажується на віддаленій ділянці відвантаження готової продукції.

4. За результатами роботи окремого автоперевізника ТОВ «Мета-Транс» при запропонованому варіанті функціонування системи була отримана економія у розмірі 51 тис. грн. Загальна економічна доцільність впровадження розроблених методів та моделей підтверджується актами впровадження на підприємствах галузі.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення ефективності функціонування транспортно-складської системи металургійного підприємства шляхом розробки методів, які поєднують систему планування вантажної роботи та сучасні технології вантажопереробки.

Основні результати досліджень дозволили зробити такі висновки:

1. Проведений аналіз існуючих наукових підходів щодо проблеми організації роботи ТСЛС МП показав, що методи управління транспортно-складськими процесами недостатньою мірою враховують вплив зовнішніх факторів (зокрема, погодних умов) і параметрів функціонування. Не враховується можливість оперативного перерозподілу вагонів за вантажними фронтами залежно від прогнозу погодних умов для скорочення тривалості їх перебування в системі.

2. Формалізація структури ТСЛС МП дозволила встановити, що підвищення ефективності досліджуваної системи в цілому передбачає розробку нових методів та моделей та для основних її підсистем – ТСЛС вивантаження та ТСЛС відвантаження, що тісно пов’язані між собою. В ході системного налізу встановлено узагальнюючий критерій ефективності – економічний, який враховує витрати на користування транспортними засобами.

3. Для удосконалення системи управління процесом розвантаження сировини розроблено метод оперативного коригування плану розподілу вантажів, оснований на тому, що в холодний період року розподіл кожної подачі вагонів виконується з урахуванням переробної спроможності вантажного фронту на момент надходження визначеної подачі. За рахунок коригування розподілу вантажів пропонованим методом середня тривалість простоїв вагонів скоротилася на 0,46 год на один вагон за добу.

4. Розроблена імітаційна модель ТСЛС вивантаження вантажів, що надходять на підприємство, дозволяє визначити раціональну кількість використовуваних ресурсів – локомотивів та камер розігріву в умовах різкої

зміни температури навколишнього середовища. В результаті використання розробленої моделі досягнуто більш ефективне планування параметрів функціонування ТСЛС, що підтверджується на реальному об’єкті за рахунок скорочення кількості локомотивів на 1 одиницю.

Запропонована імітаційна модель функціонування ТСЛС навантаження дає можливість встановити раціональний розподіл автотранспорту між найбільш інтенсивними фронтами відвантаження ГП з урахуванням роботи залізничного транспорту. Експериментальним варіюванням кількості автопоїздів на фронтах навантаження визначено, що раціональна частка відвантаження автопоїздів на віддаленій ділянці становить 60%. При такому варіанті функціонування даної ТСЛС час простою залізничного рухомого складу на фронтах навантаження скорочується на 15%.

5. Удосконалено систему планування потрібної кількості власних вагонів для забезпечення процесу доставки вантажів до металургійного підприємства з виробництва феросплавів шляхом розробки регресійних моделей визначення простою вагонів. Найбільш якісною прийнята модель, що має мінімальну похибку апроксимації ($\sigma = 0{,}071$). Запропонована модель дозволяє планувати транспортний процес та встановлювати тривалість обороту вагонів на маршрутах перевезень й потрібну кількість вагонів робочого парку.

6. Підвищення ефективності ТСЛС досягнуто за узагальнюючим економічним критерієм. Запропонована імітаційна модель ТСЛС вивантаження дозволила знизити витрати на функціонування даної системи на 2%, що в умовах підприємства ПАТ «Запоріжсталь» склала 35 тис. грн. В результаті використання імітаційної моделі ТСЛС навантаження була отримана економія у розмірі 51 тис. грн. Загальний економічна доцільність застосування розроблених методів та моделей підтверджується актами впровадження на підприємствах галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Парунакян В.Э. К вопросу формирования логистических цепей в транспортно-грузовых системах металлургических предприятий / Парунакян В.Э.,1 Гусев Ю.В.2 , Сизова Е.И.3 // Вісник Приазов. держ. техн. ун - ту: Зб. наук. пр., Маріуполь, 2006. - Вип. №16 – С 1 – 7.
2. Бойко В. А. Совершенствование системы управления транспортно-грузовыми комплексами металлургических предприятий на основе логистических принципов / В. А. Бойко, В. Э. Парунакян, Ю. В. Гусев // Журнал «Металл и литье Украины». – №7. – 2005. – С. 85-89.
3. Муравьева Н.А. Подход к классификации технологических процессов в транспортно-сладских логистических системах / Н.А. Муравьева // Вестник СГТУ. – 2013. – №2 (71). – С. 316-318.
4. Бойко В. А. Повышение эффективности работы грузовой станции металлургического комбината, принимающей массовое сырьё: дис. канд. техн. наук: 05.22.12 / В. А. Бойко; ПГТУ. – Мариуполь, 2013. – 178 с.
5. Турпак С. М. Методи та моделі управління вагонопотоками на металургійних підприємствах: монографія / С. М. Турпак. – Херсон: Грінь Д. С., 2014. – 146 с.
6. Сизова Е. И. Оптимизация управления процессами материалодвижения в логистических транспортно-грузовых комплексах предприятий / Е.И. Сизова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №4 (175). – С. 255-259.
7. Турпак С. М. Логістичні системи управління залізничним транспортом металургійних підприємств: монографія / С. М. Турпак. – Херсон: Грінь Д. С., 2015. – 264 с.
8. Дженчако В. Г. Повышение эффективности процесса переработки массового сырья на транспортно-грузовом комплексе промышленного предприятия в период отрицательных температур / В. Г. Дженчако // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом

комплексе: сб. науч. тр. – Воронеж, 2016. – Т. 3, №3 (6). – С. 208-214.

9. Парунакян В. Э. Совершенствование процесса приема и обработки вагонопотока с сырьем грузовой станции металлургического завода в зимний период / В. Э. Парунакян, В. Г. Дженчако // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2003. – №13. – С. 272-275.
10. Парунакян В. Э. Разработка методологии определения продолжительности разогрева грузов в конвективных гаражах размораживания / В. Э. Парунакян, В. Г. Дженчако // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. В. Лазаряна. – 2006. – №12. – С. 93-99.
11. Парунакян В. Э. Моделирование процесса приема и выгрузки массового сырья в транспортно-грузовом комплексе аглофабрики с учетом его динамики / В. Э. Парунакян, Е. И. Сизова // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №9 (198). – С. 114-119.
12. Дженчако, В. Г. Підвищення ефективності роботи транспортно-вантажного комплексу промислового підприємства з вивантаження масової сировини у зимовий період : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.12, 27 / В. Г. Дженчако ; Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпро, 2017. - 20 с.
13. Логистические транспортно-грузовые системы / В.И. Апатцев, С.Б. Левин, В.М. Николашин и др. Под ред. В.М. Николашина. – М.: Академия, 2003. – 304 с.
14. Кожевников Н.Н, Попов В.И. Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках. – Новосибирск: Наука, 1978. –104 с.
15. Турпак С.М. Розвиток теорії функціонування залізничного транспорту металургійних підприємств: Автореф. дис. д-ра техн. наук : 05.22.12 / С.М. Турпак; Східноукр. нац ун-т ім. В.Даля. – Сєвєродонецьк, 2016. – 42 с.
16. Лепнев М.И., Северинов Э.П. Грузы и мороз. М.: Транспорт. 1988. – 143 с.

17. Матасов С.Ф. Борьба со смерзаемостью при перевозке по железным дорогам / С.Ф. Матасов, Л.М. Куртунов, А.С. Хорунжий. – М.: Металлургия, 1974. – 248 с.
18. Маталасов С.Ф., Носков Ю.А. Совершенствование перевозок смерзающихся навалочных грузов // Железнодорожный транспорт. – 1965. – №1. – С. 27–29.
19. Харламов В.Н., Ушаков А.Я. Комплексная механизация и автоматизация работ повосстановлению сыпучести смерзшихся грузов. М.: 1978. – 37с.
20. Куцел С.А., Приймак А.Н. Способы восстановления сыпучести грузов и механизации очистки вагонов. Днепропетровск: Луч, 1975, 192с.
21. Учитель А.Д. Методы предотвращения смерзания углей при их транспортировке / Учитель А.Д., Кормер М.В., Шмельцер Е.О. // Вестник Криворожского нац. ун-та. – 2013, вип. 4 (33). – С. 113-117
22. Иванов В.М., Радовицкий И.В. Предотвращение потерь и смерзаемости углей при транспортировании. М.: Недра. 1979. -149 с.
23. Учитель А.Д. особенности применения химических реагентов для борьбы со смерзаемостью угля при его перевозках в зимний период / Учитель А.Д., Кормер М.В., Лялюк В.П., Ляхова И.А., Шмельцер Е.О., Вититнев Ю.И. // Горный вестник , Кривой рог. – 2013, т.1, вип. 1 (96). – С. 161-165.
24. Нагаева Л.В. Экспериментальное и компьютерное моделирование ндс и способов разгрузки полувагонов со смерзшимся углем / Нагаева Л.В., Олейников А.И. // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке - том: 1 , 2012, с 18-23.
25. Зырянцев О. А. Исследование теплофизических свойств сыпучих материалов при размораживании / О. А. Зырянцев, В. А. Гольцев // сборник докладов III Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 150-летию со дня рождения В. Е. Грум-Гржимайло — Екатеринбург : УрФУ, 2014. – Ч. 2. – С. 42-47.
26. Парунакян В.Э. Логистические принципы управления транспортно-грузовыми комплексами предприятий / В.Э. Парунакян, В.А. Бойко, Л.М.

Суслов, Ю.В. Гусев // Зб. Доповідей 7 міжнародної науково-практичної конференції „Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблемі логістики”. – К., 2005. – С. 13 – 19.

27. Турпак, С. М. Оптимізація транспортно-технологічних процесів при змерзанні вантажів / С. М. Турпак // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №3, 2014. – С.262-268.
28. Парунакян, В. Э. Исследование процесса размораживания железосодержащего сырья в вагонах с использованием компьютерной технологии «DATA MINING» [Текст] / В. Э. Парунакян, В. Г. Дженчако // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2010. – Вип. 20. – С. 267-274. .
29. Турпак, С. М. Імітаційна модель роботи транспорту металургійного підприємства у зимовий період [Текст] / С. М. Турпак, О. Ф. Кузькін, С. В. Грицай // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2009. – №1. – С. 91-93.
30. Турпак, С. М. Оптимізація транспортно-технологічних процесів при змерзанні вантажів [Текст] / С. М. Турпак // Збірник наукових праць V міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті». – Луганськ: СНУ ім. В.Даля, 2014. – С.90-93.
31. Шворнікова Г.М. Оптимізація вивантаження вантажу в зимовий період з урахуванням його замерзання / Г.М. Шворнікова В.Г. Іржавська Д.В. Бессонова // Вісник інженерної академії України. – 2012, № 1. – с. 284 – 268.
32. Виноградов В.К. Комбинированное воздействие на смерзшийся груз / В.К. Виноградов, Э.П. Северинова // Промышленный транспорт. – 1981. - № 2. – С. 9-10.
33. Михайлов Н.М. Комбинированный способ разогрева смерзшегося угля / Н.М. Михайлов, П.Я. Кузнецов // Промышленный транспорт. – 1980. - № 2. – С.23-26.

34. Ялоха-Коха Х. Исследование способов размораживания и предупреждения смерзаемости сыпучих грузов в ПНР / Х. Ялоха-Коха // Промышленный транспорт. – 1972. - № 9. – С.14-15.
35. Наумов С.С. Углеразмораживающий гараж / С.С. Наумов, Г.Г. Наумов // Промышленный транспорт. – 1974. - № 2. – С.12-13.
36. Минеев С. П. Основные технологические решения по эффективной разгрузке смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов. / Минеев С. П., Прусова А. А., Выгодин М. А., Минеев А. С. // Вісник Днепр. нац. Ун-ту залізничного тр-ту, вип. 40, 2012. – С. 124 – 130.
37. Минеев С. П. Основные положения технологи разгрузки смерзшегося груза из железнодорожных полувагонов[Текст] / С. П. Минеев, М. Г. Ступа, А. С. Минеев// Наук. Вісник НГУ. – 2008. – Вип. №10. – С. 24–29.
38. Соловьев В. А. Математическая модель одного из возможных путей снижения энергозатрат при разгрузке вагонов со смерзшимся углем /Соловьев В. А., Подвицкий М. Г. // Современные наукоемкие технологии. – вип. № 8-2, 2013, с. 227 – 229.
39. Приходько А. А. Математическое моделирование нестационарных процессов при замораживании и размораживании пористых сред // Приходько А.А., Алексеенко С.В. // Современная наука : сборник научных статей. – 2012, № 2 (10), С. 57 – 63.
40. Паранукян, В. Э. Методика определения продолжительности разогрева грузов в конвективных гаражах размораживания / В. Э. Паранукян, В. Г. Дженчако // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2004. – Вип. 14. – С. 319-322.
41. Парунакян, В. Э. Определение продолжительности разогрева груза в вагонах на основе метода планирования эксперимента [Текст] / В. Э. Парунакян, В. Г. Дженчако // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2006. – Вип. 16. – С. 233-239.
42. Парунакян, В. Э. Исследование процесса обработки вагонопотока с сырьем

грузовой станции металлургического завода в переходные периоды / В. Э. Парунакян, Ю. В. Гусев, В. Г. Гонтовой // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2001. – Вип. 11. – С. 285-289.

43. Пермикин, В. Ю. Оптимизация транспортных систем: курс лекций / В. Ю. Пермикин. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2014. – 74 с.
44. Косенко О. В. Модель управления на основе решения несимметричных транспортных задач / О. В. Косенко, И. В. Пушнина // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. – № 2 (139). – с. 175-180.
45. Раскин Л. Г. Многоиндексные задачи линейного программирования (теория, методы, приложения) / Л. Г. Раскин, И. О. Кириченко – М.: Радио и связь, 1982. – 240 с.
46. Дунаевская О. И. Задача транспортной логистики со случайной стоимостью перевозок / О. И. Дунаевская, Л. Г. Раскин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2007. – №37. – С.87-89.
47. Александров А. Э. Стохастическая постановка динамической транспортной задачи с задержками с учетом случайного разброса времени доставки и времени / А. Э. Александров, Н. В. Якушев // Управление большими системами: сборник трудов. – 2006 . – Вып.12 -13. – с. 5-14.
48. Косенко О. В. Повышение эффективности методов решения многоиндексных задач распределения ресурсов / О. В. Косенко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 4 (177). – С. 73-81.
49. Нечитайло Н. М. Транспортная задача по критерию минимума общего времени с учетом потерь на промежуточную обработку ресурсов / Н. М. Нечитайло // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: естественные науки. – 2003. – №3. – С.11 – 14.
50. Осыкина Ю. А. Многокритериальная транспортная задача с разрывной целевой функцией / Ю. А. Осыкина, Г. Д. Чернышова // Вестник

Воронежского государственного университета. Серия: системный анализ и информационные технологии. – 2008. – №2. – С. 10-12.

51. Котенко И. А. Транспортная задача линейного программирования на орграфе состояний системы массового обслуживания / И. А. Котенко, Е. Д. Шикина, С. Д. Туровец // Математическое моделирование и краевые задачи. Труды десятой всероссийской научной конференции с международным участием: в 3-х томах. – 2016. – С. 133-135.
52. Бочкарев А. А. Теория и методология процессного подхода к моделированию и интегрированному планированию цепи поставок: автореф. дис. … д-ра эконом. наук: 09.09.09 / А. А. Бочкарев. – Санкт-Петербург: ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный инженерно-экономический университет», 2009. – 39 с.
53. Юдин Д. Б. Задачи и методы линейного программирования / Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. – М.: Сов. радио, 1961. – 364 с.
54. Получение начального опорного плана многоиндексной задачи транспортной логистики / [Е. Б. Ахиезер, О. А. Геляровская, О. И. Дунаевская, Н. Т. Процай] // Радиоэлектроника и информатика. – 2014. – №2 (65). – С. 16-18.
55. Пересветов В. В. Приближенное решение трехиндексных планарных нелинейных транспортных задач / В. В Пересветов // Вестник ТОГУ. Информатика, вычислительная техника и управление. – 2015. – № 2(37). – С. 113-120.
56. Применение системы имитационного моделирования для расчета рациональной технической структуры и технологии промышленных транспортных систем / Александров А. Э., Новиков П. А. – Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. - 2008. - № 3. - С. 76-80, 156.
57. Алгоритмические имитационные модели управления материальными запасами на складе / Грибанова Е. Б., Мицел А. А. – Изв. Томск. политехн. ун-та. - 2006. - 309, № 8. - С. 201-207, 266.
58. Применение метода имитационного моделирования для исследования и

оптимизации работы терминальных систем / Лавров Л. Г., Рябков Р. С. – Проектирование, испытания, эксплуатация транспортных машин и транспортно-технологических комплексов: Сборник материалов Международной научно-технической конференции, Нижний Новгород, 17-19 нояб., 2005. - Н. Новгород, 2005. - С. 275-278.

59. Моделирование как основа оптимизации. Strategische Simulation / Arnemann Silva, Werner Gabriel – Ernährungsindustrie. - 2004. - № 6. - С. 14, 16-17.
60. Применение моделей и методов теории логистики при управлении транспортно-складскими системами / Лукинский В. С., Шульженко Т. Г. – Интегриров. логистика. - 2010. - № 6. - С. 20-23.
61. Оптимизация управления транспортом предприятия / Орлов А. В. – Современные проблемы информатизации в экономике и обеспечении безопасности : Сборник трудов по итогам 14 Международной открытой научной конференции, Воронеж, нояб., 2008 - янв., 2009. вып. 14. Экономика и безопасность. - Воронеж, 2009. - С. 63-64.
62. Узкое место. Проблемы / Портнов Александр – Металлоснабжение и сбыт. - 2007. - № 2. – С. 88-92.
63. Бобровський, В. І. Базова модель колійного розвитку в імітаційних моделях залізничних станціях / В. І. Бобровський, Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора // Удосконалення вантажної і комерційної роботи на залізницях України: зб. Наук. Пр.. УкрДАЗТ. – 2004. – вип. 62. – с. 20-25.
64. Козаченко Д. М. Моделювання роботи залізничного напрямку. / Д. М. Козаченко, Г. Я. Мозолевич, О.В. Власюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна – 2009. – вип. № 28. – С.143-148.
65. Козаченко, Д. М. Програмний комплекс для імітаційного моделювання роботи залізничних станцій на основі добового плану-графіка [Текст] / Д. М. Козаченко, Р. В. Вернигора, Р. Г. Коробйова // Залізничний транспорт України. – №4, 2008. – С. 18-20.

66. Турпак, С. Н. Имитационное моделирование транспортных систем при динамическом и стохастическом характере работы [Текст] / С. Н. Турпак, С. В. Грицай // Материалы XXXVIII Международной научно-технической конференции ОАО «Запорожсталь». – Запорожье, 2011. – С. 125.
67. Турпак С. М. Імітаційне моделювання вхідних вагонопотоків під'їзної колії промислового підприємства / С. М. Турпак // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – №5. – С. 75-80.
68. Турпак С. М. Удосконалення методу імітаційного моделювання вхідних вагонопотоків металургійних підприємств / С. М. Турпак // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – №1. – С. 51-56.
69. Парунакян В.Э. Повышение эффективности управления производственно-транспортной системой металлургических предприятий / В.Э.Парунакян, А.В. Маслак// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: Науковий журнал. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В.Даля, 2017 – № 3 (233) с. 125 – 131.
70. Парунакян В.Э. Повышение эффективности взаимодействия производства и транспорта в процессе материалодвижения металлургических предприятий / В.Э. Парунакян, А.В. Маслак // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. праць. – Маріуполь, 2017. - Вип. № 35. С. 237-244.
71. Баранець Г.В., Журнаковська К.І. Логістичний підхід в управлінні матеріальними ресурсами металургійного підприємства. Економіка і регіон. 2012. № 3 (34). С.123-127.
72. Гаджинский А.М. Логистика: ученик. – 15е изд. перераб и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2007. – 472 с.
73. Перебийніс В.І., Перебийніс О.В. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування: Монографія – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2005. – 207 с.
74. Бурименко Ю.И. Основы теории систем и системного анализа: учеб. пособ.

/ Ю. И. Бурименко, Л. В. Галан, И. Ю. Лебедева, А. Ю. Щуровская. – Одесса: ОНАС им. А. С. Попова, 2015. – 136 с.

75. Горев, А. Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие / А. Э. Горев; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 214 с.

76. Миротин Л. Б., Ташбаев Ы. Э. Системный анализ в логистике: Учебник / Л. Б. Миротин, Ы. Э. Ташбаев. – М.: Издательство «Экзамен», 2004. – 480 с.

77. Бродецкий Г.Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности / – М.: Academia, 2010. - 336 с.

78. Турпак С. М. Розробка мікрологістичної системи доставки готової продукції металургійних підприємств залізничним транспортом / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 5/3 (71). – С. 10-18

79. Денисенко М. П., Левковець П. Р., Михайлова Л. І. та ін. Організація та проектування логістичних систем: Підручник / за ред. проф. М. П. Денисенка, проф. П. Р. Левковця, проф.. Л. І. Михайлової. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 336 с.

80. Кічкіна О. І. Системний аналіз транспортно-складського комплексу в складі логістичної системи / О. І. Кічкіна // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1 (218). – С. 222-225.

81. Острогляд О.О. Формалізація структури управління транспортно-складською системою в умовах змерзання вантажів / О.О. Острогляд // «Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку» науково-практична конф.: тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. –2018. – С. 25.

82. Логистика: Учебник / Под ред. Б.А. Аникина: 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Л69 ИНФРА-М, 2002. — 368 с.

83. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник. – 15-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2007. – 472 с.

84. Управление грузовыми потоками в транспортно-логистических системах / Л.Б. Миротин, В.А. Гудков, В.В. Зырянов и др. Под ред. Л.Б. Миротина. – М.: Горячая линия-Телеком, 2010. – 704 с.:
85. Николайчук В. Е. Транспортно-складская логистика: Учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2007. – 452 с.
86. Turpak S.M. Improvement of a system controlling a progress of railcars unloading in the context of changes in temperature mode while operating / S.M Turpak, I.O. Taran, O.O. Ostrohliad // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2018. – №1 – p. 183 – 191.
87. Козаченко, Д.М. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади і задачі: навчальний посібник для ВНЗ / Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкін; Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпро, 2015. – 277 с.
88. Боев В. Д., Кирик Д. И., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование: Пособие для курсового и дипломного проектирования. — СПб.: ВАС, 2011. – 348 с.
89. Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение и моделирование с Anylogic 5 / Ю.Г. Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.
90. Булдовский Г.С., Веселова Г.К. Технология автоматизированной оценки успешности краткосрочных и среднесрочных метеорологических прогнозов погоды // Информационный сборник. №25. – 1998. – С. 92 – 113.
91. Горлач И.А., Шакотько Е.Н. Успешность краткосрочных и среднесрочных прогнозов погоды и полей метеорологических величин в 2008 году // Информационный сборник. №37. – 2010. – С. 93 – 113.
92. Турпак С.М. Регресійний аналіз процесу розігріву вантажів на металургійному підприємстві / С.М. Турпак, О.О. Острогляд //Тиждень науки: науково-практична конф.: тези доповідей – Запоріжжя: ЗНТУ. –

2018. – С. 122

93. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations / [O. A. Lashchenykh, S. M. Turpak, S. V. Gritsay, L. O. Vasileva, O. O. Ostrohlyad] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – №5/3 (83). – p. 40-46.
94. Лащених О. А., Кузькін О.Ф. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем: навч. Посібник. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2006. – 435 с.
95. Маслак А.В. Анализ эксплуатационных показателей и пути повышения эффективности транспортного обслуживания прокатных цехов металлургического предприятия / А.В. Маслак, Г.А. Линник // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. праць. – Маріуполь, 2016. - Вип. № 32. с. 215 - 221.
96. Бабушкін Г.Ф. Логістичні проблеми процесу відвантаження готової продукції металургійних підприємств / Г.Ф. Бабушкін, С.М. Турпак, О.Ф. Кузькін. – Вісник Донецького інституту автомобільного транспорту. №1, 2009. С. 338 – 341.
97. Моделирование как основа оптимизации проектных решений складов. Das Lager heute / Schulze Lothar – F + H: Fördern und Heben : Zeitschrift für Materialflus und Automation in Produktion, Lager, Transport und Umschlag. - 2004. - Прил. Marktbild Lager 2004. - С. 8, 10-12.
98. Турпак, С. М. Розробка імітаційних моделей обслуговування прокатного виробництва в умовах збільшення частки автоперевезень [Текст] / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Програма III міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті». – Тель-Авів: СНУ ім. В.Даля, 2011. – С. 8.
99. Турпак, С. М. Імітаційне моделювання транспортно-складської системи прокатного виробництва при обслуговуванні автомобільним та залізничним транспортом / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Тиждень науки: науково-практична конф., 9-13 квітня 2012р. : тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2012. – Т. 2. – С. 106-108.

100. Турпак С.М. Розробка імітаційних моделей обслуговування прокатного виробництва в умовах збільшення частки автоперевезень / С. М. Турпак, С. В. Грицай, О. О. Острогляд // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №3. – С. 202-209.
101. Острогляд О.О. Управління роботою транспорту підприємства з виробництва феросплавів / О.О.Острогляд // Тиждень науки: науково-практична конф., 13-17 квітня 2015р.: тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2015. – Т. 1. – С. 179.
102. Лащених О. А., Кузькін О. Ф., Грицай С. В. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних систем: навч. посібник. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2011.– 419 с.
103. Острогляд О.О. Логістика доставки сировини для феросплавного виробництва / Острогляд О.О., Грицай С. В., Каплуновська А. М. // Тиждень науки: науково-практична конф., 18-22 квітня 2016р. : тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2016. – Т. 1. – С. 59.
104. The effect of methods of eliminating spikes in the time series of freight flows on their statistical characteristics / [S. V. Gritsay, O. A. Lashchenykh, S. M. Turpak, O. O. Ostrohlyad, T. V. Kharchenko] // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – №1/3 (85). – p. 33-39.
105. Turpak S. M. Logistics of raw materials supply for the ferroalloy industry / S. M. Turpak, S. V. Gritcay, O. O. Ostrohlyad // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. – №10. – p. 16-23.
106. Турпак, С. Н. Совершенствование методов определения плановых показателей работы на железнодорожном транспорте металлургических предприятий / С. Н. Турпак, Е. А. Острогляд // Материалы 41-й Международной научно-технической конференции ОАО «Запорожсталь». – Запорожье, 2014. – С. 115-116.

ДОДАТОК А

Інтервали надходження вантажів на комбінат Запоріжсталь

Таблиця А.1 – Інтервали надходження вантажів, год.

№ п/п	Концент-рат залізору-дний	Руда	Вапняк	Вугільний Концен-трат	Вугіл-ля	Кокс	Окати-ші	Інші
1	3,67	16,50	4,00	10,00	6,17	2,00	48,50	58,50
2	2,00	6,00	6,00	21,92	4,00	2,00	47,00	21,00
3	2,00	4,00	4,00	102,75	9,50	7,17	2,00	61,58
4	2,00	12,67	2,00	4,00	10,00	10,00	44,00	38,00
5	2,00	14,25	10,00	16,42	43,83	4,42	34,50	9,50
6	14,67	23,83	25,42	2,00	10,00	11,33	56,00	49,58
7	10,50	4,00	4,00	100,50	20,67	21,75	34,00	27,33
8	10,83	14,58	4,00	8,00	7,33	4,00	27,83	24,00
9	10,00	9,83	4,33	10,00	14,67	6,17	17,08	6,00
10	2,00	16,00	9,83	4,00	4,50	14,42	17,50	23,83
11	2,00	8,00	19,08	12,00	6,00	15,92	21,67	6,00
12	8,58	6,00	4,00	26,00	35,67	2,00	33,67	32,00
13	2,00	10,58	6,75	8,00	12,00	8,00	19,92	2,00
14	2,00	12,92	5,75	4,00	4,00	2,00	60,33	36,08
15	2,00	26,00	13,00	6,00	4,00	10,00	6,00	41,17
16	6,00	10,17	10,83	8,00	30,58	4,00	28,00	39,50
17	4,00	3,33	6,42	72,50	4,00	4,00	25,83	30,33
18	4,00	24,50	4,50	2,67	41,92	16,00	54,67	9,50
19	2,00	10,00	4,00	20,92	10,00	6,00	34,00	6,00
20	4,00	16,67	7,58	35,58	17,25	12,83	18,00	13,58
21	14,83	22,67	10,67	17,00	4,00	12,00	27,50	12,00
22	4,00	12,00	2,00	27,08	34,33	6,00	29,17	24,50
23	4,00	17,25	4,50	49,42	6,00	11,50	26,58	25,17
24	6,33	6,00	2,00	34,42	13,50	22,17	14,00	41,83
25	2,00	23,67	7,00	32,50	4,00	2,58	33,42	6,50
26	7,17	15,00	5,17	10,67	24,75	11,42	47,42	54,00
27	8,58	7,17	2,00	30,58	31,08	2,00	30,17	35,67
28	9,58	9,83	9,92	19,83	5,00	2,00	13,25	11,92
29	18,67	22,75	2,00	4,00	18,00	8,00	20,00	27,42
30	4,00	4,33	20,83	8,00	20,00	4,00	24,00	40,50
31	5,58	7,58	4,00	4,00	7,67	2,00	25,92	17,83
32	14,00	4,42	5,33	13,17	12,50	12,00	23,58	9,58

Продовження таблиці А.1

33	2,00	18,00	3,33	23,50	27,50	10,33	14,00	6,17
34	7,83	7,67	3,33	48,00	13,75	10,00	18,17	12,00
35	14,92	22,25	3,17	4,00	7,58	6,00	6,42	23,50
36	2,00	13,00	4,42	9,33	9,42	15,50	19,50	19,83
37	12,75	8,33	4,33	7,67	8,00	4,00	56,33	9,67
38	4,00	12,00	9,08	48,33	11,83	13,00	12,67	27,75
39	8,50	7,08	4,33	6,00	2,00	12,00	41,67	32,83
40	4,00	8,00	10,00	22,67	17,00	7,67	2,00	25,83
41	6,00	22,00	8,00	21,50	3,25	6,17	35,08	36,83
42	8,25	28,08	12,83	80,75	19,75	28,33	19,00	20,08
43	10,00	20,50	22,17	80,58	2,00	8,00	21,83	14,00
44	4,58	4,00	6,00	15,00	10,00	9,83	49,83	29,33
45	21,08	7,33	4,00	48,50	10,00	2,58	18,00	21,17
46	15,83	8,67	2,00	40,25	6,42	6,00	24,08	4,58
47	19,83	8,00	2,00	44,33	14,83	10,00	24,08	7,00
48	18,25	8,00	13,50	16,75	15,25	8,83	16,00	8,92
49	20,92	2,00	22,33	63,83	44,75	2,00	13,50	23,08
50	16,58	2,42	9,50	34,00	19,17	13,33	39,00	35,67
51	4,00	2,00	22,00	23,83	10,33	8,50	22,92	16,33
52	8,00	15,75	6,00	32,83	7,67	6,00	50,33	2,67
53	12,17	25,33	21,00	7,25	2,00	2,00	51,67	11,00
54	15,67	6,42	19,75	3,83	42,67	7,50	19,50	10,17
55	12,92	8,00	13,83	74,33	17,25	12,00	14,33	4,67
56	9,25	6,00	4,50	48,67	22,33	13,83	57,83	14,42
57	10,33	2,00	8,00	18,33	44,50	19,50	2,83	36,00
58	11,08	2,00	2,00	8,92	13,58	7,50	18,50	14,00
59	22,00	6,00	6,83	68,83	5,50	6,75	9,25	59,50
60	12,17	10,00	18,92	27,92	2,58	10,50	38,25	6,00
61	6,50	17,58	20,00	23,25	13,08	10,00	17,83	23,83
62	13,00	10,58	10,50	13,08	11,92	2,00	46,67	11,25
63	23,83	2,00	6,33	34,25	2,00	5,00	26,67	28,58
64	4,92	4,17	11,50	11,92	30,17	2,00	11,00	14,42
65	11,17	2,00	6,00	24,67	2,92	24,00	20,67	12,67
66	10,67	6,50	4,00	61,75	20,00	4,00	38,83	4,00
67	4,00	3,33	9,33	46,58	16,92	2,00	46,50	17,25
68	17,50	18,33	6,58	22,75	3,25	2,00	10,00	6,00
69	15,00	12,00	6,00	13,00	4,00	11,00	29,17	19,08
70	2,00	12,00	8,58	8,00	14,67	7,25	26,58	18,42
71	2,00	8,00	4,00	14,67	10,00	6,00	14,00	10,83
72	17,00	6,00	8,83	36,75	14,00	12,25	33,42	21,50

Продовження таблиці А.1

73	22,17	12,00	4,00	67,25	19,75	6,75	47,42	28,25
74	10,00	2,00	17,08	55,25	35,67	15,50	30,17	27,67
75	6,00	6,17	4,00	76,00	36,67	21,50	13,25	9,50
76	14,00	15,83	4,42	47,50	18,67	4,00	20,00	38,17
77	7,50	10,00	13,50	33,08	33,00	24,00	24,00	22,33
78	22,50	5,00	2,00	86,33	44,83	25,67	25,92	18,67
79	2,00	16,33	22,00	63,92	6,00	18,17	23,58	24,17
80	2,00	6,58	6,00	6,58	4,33	8,50	14,00	9,50
81	2,00	19,08	6,00	68,50	18,67	6,00	18,17	10,00
82	4,00	11,08	2,00	17,33	46,08	6,00	6,42	28,17
83	4,00	14,08	11,42	7,42	18,17	8,00	19,50	28,17
84	18,33	6,42	8,67	23,50	8,17	2,00	56,33	48,58
85	10,00	9,42	15,50	14,00	19,67	16,00	12,67	8,00
86	5,50	2,00	7,58	92,42	14,00	2,00	41,67	11,58
87	14,00	8,50	8,08	11,67	12,00	12,75	2,00	22,17
88	10,17	4,00	18,67	32,08	12,58	6,00	35,08	29,08
89	8,08	8,50	4,00	6,00	16,00	2,00	19,00	15,67
90	6,00	10,00	3,00	37,58	20,58	11,58	21,83	9,58
91	8,58	6,67	2,00	38,42	21,83	6,00	49,83	14,42
92	6,00	8,17	2,00	27,75	6,00	10,00	18,00	16,58
93	18,33	12,42	7,67	49,42	8,83	2,00	24,08	28,92
94	2,00	3,67	15,50	55,17	24,00	4,33	24,08	29,58
95	18,00	3,67	15,17	103,50	6,00	4,00	16,00	4,17
96	15,00	14,33	2,00	15,25	38,42	2,00	13,50	6,00
97	4,00	16,33	17,83	15,58	16,33	8,67	39,00	7,25
98	10,58	27,75	15,58	2,00	17,33	24,33	22,92	30,33
99	2,00	4,58	16,33	17,33	10,08	28,50	50,33	50,75
100	8,00	3,17	2,00	7,42	14,00	2,00	10,00	55,75

ДОДАТОК Б

Температура повітря у м. Запоріжжя за січень 2015 року

Таблиця Б.1 – Температура повітря, °С

День	Час вимірювання температури							
	2:00	5:00	8:00	11:00	14:00	17:00	20:00	23:00
1	–20	–20,2	–19,9	–10,9	–7,5	–8,2	–9	–8,9
2	–7,3	–6,1	–4,6	–3,2	–1,1	–0,5	–0,6	–1,2
3	–1,8	–0,8	0,1	1,3	2,5	1,7	1,8	1,6
4	1,3	0,5	–0,1	0,9	1	0	–1,2	–0,9
5	–1	–2,3	–1,8	–0,8	–1,1	–2	–1,5	–2,8
6	–5,8	–8,9	–9,4	–8,5	–5,5	–6,3	–8	–9,9
7	–12,6	–15,3	–17,9	–17,6	–17,9	–19,2	–20,6	–22,3
8	–22,9	–24	–24,6	–21,4	–18,8	–21,1	–23,1	–23,2
9	–22,5	–20,9	–18,3	–14,2	–8,1	–4,5	–4,1	–4,2
10	–3,4	–2,6	–0,6	0,1	0,5	0	0,3	0,1
11	0,1	0	2	2,7	3,8	3	–0,1	1,2
12	1,3	0,4	0,8	1,5	2	0,7	1,6	0,9
13	–0,5	–2	–3,2	1	3	0,6	–1,4	–2,3
14	–2,3	–2,8	–2,1	1,9	3,1	0,7	–1,3	–1,2
15	–1,2	–1,5	–0,6	1,3	1,5	0,6	0,5	0,5
16	0,6	0,4	0,1	0,3	1,2	0,8	0,5	0,4
17	0,2	0,2	0	0,6	0,9	0,2	–0,2	–0,2
18	–0,2	–1,2	0,1	1,1	1,7	1	0,2	0,1
19	0	0	0,6	1,8	2,2	1,3	1,7	1,3
20	1,8	1,7	1,6	2,1	2,2	1,3	1,1	0,9
21	0,8	0,7	0,9	1,1	1,2	1	1	0,9
22	0,8	0,8	0,7	1,5	1,3	0,8	0,8	0,6
23	0,7	0,5	0,6	1,3	1,1	0	–0,3	–0,1
24	–0,5	–1	–2,2	–2,7	–3,6	–3,7	–3,1	–2,3
25	–2,5	–2,5	–1,7	–1,1	–0,2	–0,4	–0,5	0,2
26	0,5	0,4	0	0,7	1,4	0,1	0	–0,2
27	–0,3	–0,4	–0,9	–0,8	–0,7	–0,6	–0,4	–0,4
28	–0,3	–0,3	–0,1	0,5	0,7	0,4	0,1	0,3
29	0,2	–0,1	–0,6	–0,5	–0,3	–0,2	–0,1	0
30	0,4	0,3	0,4	1,7	3	3,6	4,6	4,3
31	4,8	5,2	5,5	7,6	7,9	7,3	8	7,7

ДОДАТОК В

Обробка статистичних даних з надходження вантажів до феросплавного виробництва за період листопад 2013р. – червень 2014 р.

Таблиця В.1 – Дані статистичних спостережень за період листопад 2013р. – червень 2014 р.

№ з/п	Змінна	Позначення	Діапазон значень
1	Простій	y	11,41 – 24,56
2	КД	x_1	14 – 63
3	Підз. бункери	x_2	0 – 23
4	Склад вапняку	x_3	0 – 53
5	СШ 1 (закр.)	x_4	72 – 229
6	СШ 1 (відкр.)	x_5	13 – 130
7	ШВ 2	x_6	18 – 57
8	ШВ 3	x_7	32 – 95
9	ШВ 4	x_8	142 – 308
10	Агломерат	x_9	104 – 241
11	Вапняк	x_{10}	0 – 53
12	Вугілля	x_{11}	0 – 12
13	Електрод.маса	x_{12}	1 – 9
14	Кварцит	x_{13}	37 – 128
15	Кокс	x_{14}	33 – 220
16	Контейнер	x_{15}	14 – 63
17	Руда	x_{16}	72 – 239
18	Стружка	x_{17}	1 – 16
19	Дні з опадами	x_{18}	1 – 9
20	К-ть днів з $t < 0$	x_{19}	0 – 10

Таблиця В.2 – Основні статистичні характеристики

Змінні та їх характеристики		Значення характеристик	Змінні та їх характеристики		Значення характеристик	Змінні та їх характеристики		Значення характеристик
y	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	15,216 3,193 20,986	x_7	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	63,125 17,099 27,087	x_{14}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	126,917 44,602 35,142
x_1	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	39,292 15,988 40,690	x_8	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	216,375 39,906 18,443	x_{15}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	39,083 15,839 40,525
x_2	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	5,125 6,110 119,3	x_9	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	165,333 34,039 20,588	x_{16}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	147,542 42,358 28,709
x_3	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	23,375 11,661 49,888	x_{10}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	23,292 11,782 50,586	x_{17}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	8,375 4,168 49,771
x_4	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	136,792 34,554 25,261	x_{11}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	2,500 2,719 108,748	x_{18}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	4,667 2,036 43,627
x_5	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	69,417 27,311 39,344	x_{12}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	4,958 1,922 38,762	x_{19}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	2,583 3,322 128,597
x_6	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	37,458 10,726 28,634	x_{13}	$\bar{y}$ σ $\nu,\%$	70,333 23,401 33,272			

Таблиця В.3 – Результати виявлення викидів у вибірці

№ з/п	Змінна	Позначення	Діапазон значень	Викиди
1	Простій	y	11,41 – 16,84	21,17; 21,67; 24,56
2	КД	x_1	14 – 63	–
3	Підз. бункери	x_2	0 – 8	14; 15; 16; 23
4	Склад вапняку	x_3	0 – 42	53
5	СШ 1 (закр.)	x_4	72 – 190	229
6	СШ 1 (відкр.)	x_5	13 – 130	–
7	ШВ 2	x_6	18 – 57	–
8	ШВ 3	x_7	32 – 95	–
9	ШВ 4	x_8	142 – 308	–
10	Агломерат	x_9	104 – 241	–
11	Вапняк	x_{10}	0 – 42	53
12	Вугілля	x_{11}	0 – 6	12
13	Електрод.маса	x_{12}	1 – 9	–
14	Кварцит	x_{13}	37 – 92	118; 128
15	Кокс	x_{14}	33 – 220	–
16	Контейнер	x_{15}	14 – 63	–
17	Руда	x_{16}	72 – 239	–
18	Стружка	x_{17}	1 – 16	–
19	Дні з опадами	x_{18}	1 – 9	–
20	К-ть днів з $t < 0$	x_{19}	0 – 10	–

Таблиця В.4 – Вибірка з нормалізованими значеннями

№ з/п	Змінна	Позначення	Діапазон значень
1	Простій	y	-1,19 – 2,93
2	КД	x_1	-1,58 – 1,48
3	Підз. бункери	x_2	-0,84 – 2,93
4	Склад вапняку	x_3	-2,0 – 2,54
5	СШ 1 (закр.)	x_4	-1,88 – 2,67
6	СШ 1 (відкр.)	x_5	-2,07 – 2,22
7	ШВ 2	x_6	-1,81 – 1,82
8	ШВ 3	x_7	-1,82 – 1,86
9	ШВ 4	x_8	-1,86 – 2,3
10	Агломерат	x_9	-1,8 – 2,22
11	Вапняк	x_{10}	-1,98 – 2,52
12	Вугілля	x_{11}	-0,92 – 3,49
13	Електрод.маса	x_{12}	-2,06 – 2,1
14	Кварцит	x_{13}	-1,42 – 2,46
15	Кокс	x_{14}	-2,11 – 2,09
16	Контейнер	x_{15}	-1,58 – 1,51
17	Руда	x_{16}	-1,78 – 2,16
18	Стружка	x_{17}	-1,77 – 1,83
19	Дні з опадами	x_{18}	-1,8 – 2,13
20	К-ть днів з $t < 0$	x_{19}	-0,78 – 2,23

ДОДАТОК Г

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Проректор з наукової роботи
та міжнародної діяльності
Запорізького національного
технічного університету

_____ В.В. Наумик
_____ 2019 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор з транспорту та логістики
Публічного акціонерного товариства
«Запорізький металургійний комбінат
Запоріжсталь»

_____ О.Ф. Адаманов
_____ 2019 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Острогляд Олени Олександрівни

Комісія у складі:
голови: начальника служби вантажної та комерційної роботи на залізничному транспорті Колісника В.А.,
членів комісії:

заступника начальника служби вантажної та комерційної роботи на залізничному транспорті Савенко С.Г.;

представника ЗНТУ зав. каф. транспортних технологій доктора техн. наук, проф. Турпака Сергія Миколайовича,
склали дійсний акт в тому, що запропоновані в дисертаційній роботі Острогляд Олени Олександрівни:

- методика планування розподілу вантажів, яка дозволяє більш ефективно керувати функціонуванням транспортно-складської логістичної системи на оперативному рівні в умовах різкої зміни температури повітря;
- модель управління процесом розігріву та вивантаження, що дозволяє визначити найбільш економічний режим роботи шляхом визначення оптимальної кількості залучених ресурсів;

впроваджені в Дирекції з транспорту та логістики Публічного акціонерного товариства «Запорізький металургійний комбінат «Запоріжсталь».

Річний економічний ефект від впровадження в рамках загальної оптимізації роботи транспортно-складської системи підприємства склав 35 тис. грн.

Голова комісії В.А. Колісник

Члени комісії С.Г. Савенко

С.М. Турпак

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Проректор з наукової роботи
та міжнародної діяльності
Запорізького національного
технічного університету

_____ В.В. Наумик
"___" _____ 2018 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Директор
ТОВ «Мета-Транс»

_____ О.Ю. Пшеничний
"___" _____ 2018 р.

АКТ
про впровадження результатів дисертаційної роботи Острогляд Олени Олександрівни

Комісія у складі:
голови: директора ТОВ «Мета-Транс» Пшеничного Олександра Юрійовича;
членів комісії:

логіста з транспорту ТОВ «Мета-Транс» Пшеничного Сергія Ігоревича;

представника ЗНТУ завідувача кафедри транспортних технологій доктора технічних наук, професора Турпака Сергія Миколайовича,

склали дійсний акт в тому, що запропоновані в дисертаційній роботі Острогляд О.О. методи підвищення ефективності транспортно-складських процесів на базі розробленої імітаційної моделі транспортно-складської логістичної системи навантаження дозволяють раціонально планувати процеси перевезень готової продукції металургійних підприємств завдяки встановленню оптимального режиму взаємодії залізничного та автомобільного транспорту і скоротити час простоїв в очікувані навантаження транспортних засобів.

За рахунок удосконалення транспортно-складської логістичної системи ТОВ «Мета-Транс» та ефективної організації вантажних робіт отримано економічний ефект у розмірі 51 тис. грн/на рік.

Голова комісії О.Ю. Пшеничний

Члени комісії С.І. Пшеничний

С.М. Турпак

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Ректор Запорізького
національного технічного
університету, проф.

_____ С.Б. Бєліков
16.05 2019

АКТ
Впровадження результатів дисертаційної роботи
Острогляд Олени Олександрівни

16.05 2019 р. м. Запоріжжя

Складено комісією у такому складі
Голова: декан транспортного факультету, канд. техн. наук, доцент О.Ф. Кузькін

члени комісії:
завідувач кафедри транспортних технологій, д-р техн. наук, проф. С.М. Турпак
професор кафедри транспортні технології, д-р техн. наук, проф. Г.Ф. Бабушкін

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження результатів дисертаційної роботи Острогляд О.О. на тему «Підвищення ефективності роботи транспортно-складської системи виробничого рівня металургійного підприємства на основі логістичних принципів» та установила, що результати вказаної роботи впроваджені у Запорізькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі транспортних технологій.

Вид та об'єм впровадження.

1. Науковий підхід до розробки імітаційних моделей транспортно-складских систем металургійних підприємств з урахуванням зовнішніх факторів впливу використовується у лабораторних роботах з дисципліни «Моделювання транспортних процесів».

2. Удосконалений підхід до розв'язку динамічної транспортної задачі в умовах розподілу вагонів для залізничних цехів та управлінь металургійних підприємств, що враховує можливості вантажних фронтів на момент надходження кожної подачі вагонів, а також процедура визначення розрахункового часу знаходження вагонів на підприємстві використовуються в лекційних курсах та на практичних заняттях дисципліни «Залізничний транспорт промислових підприємств».

Впровадження у навчальний процес згаданих вище результатів та висновків дисертаційної роботи дозволяє підвищити рівень та якість підготовки магістрів спеціальностей 275 «Транспортні технології (на залізничному транспорті)» та 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті».

Голова комісії О.Ф. Кузькін

Члени комісії С.М. Турпак

Г.Ф. Бабушкін