

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЗАПОРІЗЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Васильєва Лариса Олексіївна

УДК 656.073 : 658.286

ДИСЕРТАЦІЯ

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕВЕЗЕНЬ  
ВУЗЬКОНОМЕНКЛАТУРНОЇ КРУПНОПАРТІОННОЇ  
МЕТАЛОПРОДУКЦІЇ РАЦІОНАЛЬНИМ ФОРМУВАННЯМ  
ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ**

Спеціальність 05.22.12 – промисловий транспорт

Галузь знань 027 – 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



Л. О. Васильєва

Науковий керівник:

Турпак Сергій Миколайович

доктор технічних наук, професор

## АНОТАЦІЯ

Васильєва Л. О. Підвищення ефективності перевезень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції раціональним формуванням вантажних відправлень. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.12 – «Промисловий транспорт» (275 – Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2020.

Дисертація присвячена вирішенню наукового завдання підвищення ефективності перевезень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції шляхом розробки методів, які враховують технічні та технологічні особливості формування вантажних відправлень даної продукції.

Застосування нових підходів до організації технологічних процесів відвантаження готової продукції металургійних підприємств й управління ними є одним з основних напрямків підвищення ефективності їх діяльності.

Проведено аналіз сучасного стану ефективності функціонування мікрологістичної системи відвантаження готової продукції (МЛС ВГП) металургійного підприємства, визначені мета і завдання дослідження. В ході аналізу встановлено, що перевезення вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції потребують удосконалення транспортних технологій на етапі формування вантажних відправлень.

В загальному логістичному ланцюзі виділено та досліджено роботу МЛС ВГП металургійного підприємства, що дозволило визначити стратегію управління системою в умовах постійного удосконалення транспортних засобів, схем навантаження, технології виробництва та виконання вантажних і транспортно-складських робіт.

Формалізація структури МЛС ВГП в ланці логістичного ланцюга дозволила визначити зовнішні та внутрішні групи факторів: «технологія

виробництва», «складська переробка», «вимоги до навантаження», які впливають на її функціонування.

Отримана цільова функція, яка дозволяє поєднати локальні оптимізаційні методи та сформувані методологію, що забезпечить підвищення ефективності МЛС ВГП. Визначені основні параметри системи МЛС ВГП: коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортних засобів, кількість відправлень з використанням багатооборотних засобів кріплення вантажу, тривалість відвантаження продукції у транспортні засоби зі складу. Шляхом управління цими параметрами досягається оптимізація цільової функції та підвищення ефективності функціонування МЛС ВГП. Визначений основний критерій оптимізації формування вантажних відправлень – мінімізація загальних логістичних витрат.

Для визначення змінних, що характеризують використання вантажопідйомності транспортних засобів при відвантаженні продукції металургійного підприємства використано факторний аналіз, а саме – метод головних компонент, яким встановлено основні причини неповного використання вантажопідйомності рухомого складу.

Досліджено систему використання БОЗК на металургійних підприємствах. Для оптимізації їх робочого парку обґрунтовано доцільність використання стохастичних дискретно-подійних імітаційних моделей.

Розроблено методику (на основі методу Парето) складування готової продукції у послідовно розташованих від вантажного фронту зонах А, В та С. Обґрунтовано співвідношення площ цих зон до загальної площі ділянки відвантаження 60%, 30% та 10% відповідно, чим забезпечується скорочення терміну навантаження транспортних засобів.

Для удосконалення організації та планування роботи транспортно-складської системи промислового підприємства розроблено імітаційну модель доставки вантажів з використанням БОЗК та новий метод визначення їхньої кількості при організації процесу доставки металопродукції, який ґрунтується

на логістичному підході, методах статистичного аналізу та імітаційного моделювання.

Розроблено метод оптимального формування вагонних відправлень при завантаженні металопрокату у вагони, який дозволяє збільшити кількість вантажу у вагоні та підвищити коефіцієнт використання вантажопідйомності. При цьому для перевезення однакового обсягу вантажу зменшується потрібна кількість вагонів та сума витрат на перевезення.

Проведені експериментальні дослідження роботи фронту навантаження металопродукції у вагони із застосуванням імітаційного моделювання дозволили визначити найбільш ефективну схему обслуговування мостовими кранами. Розроблена модель дозволяє підвищити ефективність управління за рахунок скорочення часу простою рухомого складу та знизити загальні витрати в процесі відвантаження металопрокату у залізничні вагони.

Для підвищення ефективності технології відвантаження металопрокату автомобільним транспортом запропоновані технологічні зміни в організації функціонування пунктів навантаження на автомобільних в'їздах до прокатних цехів. Розроблена імітаційна модель, яка враховує стохастичний характер ваги окремих вантажних місць, що надаються до перевезення. За допомогою цієї моделі досліджено та удосконалено процес навантаження, що дозволило оцінити ефективність використання автотранспорту різних марок та типів. За рахунок збільшення коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів підвищено ефективність доставки.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримані результати дозволяють підвищити ефективність функціонування МЛС ВГП металургійного підприємства завдяки розробці методів та моделей, які враховують загальний вплив всіх факторів системи при виборі параметрів її роботи.

Запропонований метод визначення оптимальної кількості БОЗК дозволяє встановити їхній потрібний робочий парк для забезпечення мінімальних логістичних витрат на доставку продукції.

Методика оптимального формування вагонних відправлень дозволяє зменшити потрібну кількість рухомого складу для перевезень та витрати на доставку.

Запропонована процедура визначення найбільш ефективного управління роботою вантажного фронту залізничного транспорту, в основі якої є використання методу імітаційного моделювання, дозволяє знизити витрати в процесі відвантаження металопрокату у вагони.

Розроблена методика імітаційного моделювання процесу навантаження на автомобільний транспорт, яка враховує стохастичний характер ваги окремих вантажних місць, та дозволяє підвищити ефективність доставки за рахунок збільшення коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів.

Основні наукові результати, які отримано в дисертаційному дослідженні знайшли застосування на ПАТ «Запоріжсталь», 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.

Дослідження, виконані в дисертаційній роботі, пов'язані з НДР Запорізького національного технічного університету: держбюджетної теми ДБ 02012 «Розробка методів удосконалення міських та промислових транспортних систем» (2012-2015 рр., номер держ. Реєстрації 01112U005344); 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.

Розроблені методи дозволяють удосконалити процес формування вантажних відправлень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції за узагальнюючим критерієм мінімальних загальних логістичних витрат, а не лише технічних показників ефективності, та

підвищити ефективність функціонування МЛС ВГП.

**Ключові слова:** мікрологістична система відвантаження готової продукції, прокатне виробництво, вагон, фронт відвантаження, коефіцієнт використання вантажопідйомності, засоби кріплення, імітаційне моделювання.

## ABSTRACT

Vasylieva L. O. Improving the efficiency of transportation of narrow-nomenclature large-batch steel products due to the rational formation of cargo shipments. – 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, 2020.

The dissertation is devoted to solving the scientific problem of improving the efficiency of the micrologistic system of shipment of finished products of a metallurgical enterprise, taking into account external and internal factors of influence.

The application of new approaches to the organization of technological processes of shipment of finished products of metallurgical enterprises and their management is one of the main directions for improving the efficiency of their activities.

The analysis of the current state of the problem of efficiency of functioning of the micrologistic system of shipment of finished products of a metallurgical enterprise is carried out, the purpose and objectives of the study are determined. During the analysis, it was found that transportation of narrow-nomenclature large-batch steel products requires improvement of transport technologies at the stage of forming cargo shipments.

In the general logistics chain, the operation of the micrologistic system of shipment of finished products (MLS SFP) of a metallurgical enterprise is identified and investigated. The external and internal factors influencing the functioning of the MLS SFP, which affect the strategy of its management in the conditions of constant improvement of vehicles, loading schemes, production technology and performance of cargo and transport and warehouse operations, are determined. The main criterion for optimizing the formation of cargo shipments is defined – minimizing total logistics costs.

The MLS SFP is formalized in the link of the logistics chain «rolling production – main transport» of the metallurgical enterprise. The groups of factors

affecting the functioning of this micrologistic system are identified: «production technology», «warehouse processing», «load requirements».

An objective function is obtained that allows combining local optimization methods and forming a methodology that will increase the efficiency of the micrologistic system for shipping finished products. The main parameters of the MLS SFP system are determined: the utilization factor of the load capacity of vehicles, the number of shipments using multi-turn means of securing cargo, the duration of shipment of products to vehicles from the warehouse. By selecting these parameters, the target function is optimized and the efficiency of the micrologistic system of shipment of finished products is increased.

To determine the variables that characterize the use of the load capacity of vehicles when shipping products of a metallurgical enterprise, the factor analysis was used, namely, the method of main components, which established the main reasons for incomplete use of the load capacity of rolling stock.

The system of using multi-turn fastening means at metallurgical enterprises is studied. To optimize their working fleet, the expediency of using stochastic discrete-event simulation models is justified.

A method (based on the Pareto method) for storing finished products in zones A, B and C sequentially located from the cargo front has been developed. The ratio of the areas of these zones to the total area of the shipment site is justified by 60%, 30% and 10%, respectively, which reduces the loading time of vehicles.

The methods of organizing and planning the operation of the transport and warehouse system of an industrial enterprise have been improved. A new method for determining the optimal amount of multi-turn fastening methods in the organization of the delivery process of steel products has been developed, which is based on the logistics approach, methods of statistical analysis and simulation modeling according to the criterion of minimum logistics costs.

A method for optimal formation of car shipments has been developed, which is implemented by iterating through the values of cargo space parameters, which



reduces the required amount of rolling stock for transportation and total delivery costs.

A simulation model of the operation of the linear loading front of wagons and a procedure for determining the most effective management for determining options for securing loading facilities for service zones are developed.

To increase the efficiency of the technology of shipment of rolled metal products by road, the technological changes are proposed for the arrangement of loading points at all automobile entrances to rolling shops. In real conditions, vehicles of various load capacities are used to deliver the declared rolled metal products, and pre-completion of orders for a large number of relatively small consumers is impossible due to the limited territory of product warehouses.

Under such conditions, taking into account the stochastic nature of the weight of individual cargo spaces, a method of simulation modeling of the loading process on road transport has been developed, which allows us to assess the efficiency of using vehicles of various brands and types and make it greater by increasing the utilization factor of the load capacity of cars to the values of their nominal load capacity.

The practical significance of the results obtained lies in the fact that the results obtained make it possible to increase the efficiency of the micrologistic system of shipment of finished products of a metallurgical enterprise by developing methods and models that take into account the overall influence of all factors of the system when choosing the parameters of its operation.

The proposed method for determining the optimal number of multi-turn fasteners allows you to set their required working fleet to ensure minimal logistics costs for product delivery.

The method of optimal formation of car shipments, which is implemented by iterating through the values of cargo space parameters, allows you to reduce the required amount of rolling stock for transportation, the cost of delivery costs and the amount of payment for using cars.

The proposed procedure for determining the most effective management of the freight front of railway transport, which is based on the use of simulation modeling, reduces costs in the process of shipping rolled metal products to wagons.

A method of simulation modeling of the loading process on road transport has been developed, which takes into account the stochastic nature of the weight of individual cargo spaces, and allows you to increase the efficiency of delivery by increasing the utilization factor of the load capacity of cars.

The main scientific results obtained in the dissertation research were applied at PJSC «Zaporizhstal», and are also used in research work and in the educational process of the National University «Zaporizhzhia Polytechnic» in the preparation of bachelors and masters of specialties 275 «Transport technologies (on railway transport)» and 275 «Transport technologies (on road transport)», which is confirmed by the acts on the implementation of the results of the dissertation.

The research performed in the dissertation work is related to the research of Zaporizhzhia National Technical University: state budget topic DB 02012 «Development of methods for improving urban and industrial transport systems» (2012-2015, the number of state registration 01112U005344); DB 02013 «Development of logistics of transport and warehouse processes in energy-intensive and environmentally polluting systems of industrial enterprises» (2013-2014, the number of state registration 0113U001095) in which the author is the performer and co-author of the report.

The improving the efficiency of the micrologistic system of shipment of finished products was achieved by minimizing total logistics costs. The results of the research made it possible to increase the efficiency of the micrologistic system of shipment of finished products of metallurgical enterprises by optimizing the formation of cargo shipments.

**Keywords:** micrologistic system of shipment of finished products, rolling production, wagon, shipment front, load capacity utilization factor, fastening means, simulation modeling.

## 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. 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. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.80752>.

*Наукові праці у фахових виданнях, затверджених МОН України:*

2. Бабушкін Г. Ф. Імітаційне моделювання масових перевезень готової продукції металургійних підприємств автомобільним транспортом / Г. Ф. Бабушкін, С. М. Турпак, С. В. Грицай, Л. А. Васильєва // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – №3. – С. 123-125.

3. Турпак С. М. Оптимізація графіків внутрішніх залізничних перевезень металургійного підприємства / С. М. Турпак, Л. О. Васильєва, Г. О. Лебідь, О. О. Падченко, Ю. Т. Сидоренко // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2017. № 3 (233). С. 199-205.

4. Турпак С. М. Дослідження мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургійного підприємства / С. М. Турпак, Л. О. Васильєва, О. О. Падченко, Г. О. Лебідь // *Вчені записки таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія : Технічні науки*. К.: 2018. Том 29 (68). № 4. Ч. 2. С. 156-162.

5. Турпак С.М. Підвищення ефективності роботи пунктів навантаження металопродукції раціональним використанням мостових кранів / С.М. Турпак, Л.О. Васильєва, О.О. Падченко, Г.О. Лебідь // *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного*

транспорту. – Дніпро, 2019. - № 6 (84). - С. 130-141.  
doi:10.15802/stp2019/195757.

6. Турпак С.М. Підвищення ефективності взаємодії залізничного та водного транспорту визначенням раціональних розмірів руху / С.М. Турпак, Л.О. Васильєва, Т.В.Харченко, Л.А.Веремеєнко, В.В.Гришко // Вчені записки таврійського національного університету імені В.І.Вернадського. Серія : Технічні науки. - К., 2020. - Том 31 (70). - № 2. Ч. 2. С. 175-181.

### **Додаткові праці:**

#### *Праці апробаційного характеру:*

7. Васильєва Л. О. Визначення логістичного критерію оптимізації процесів формування вантажних відправлень металургійного підприємства / Л. О. Васильєва, Я. О. Шмакова // Тиждень науки. Збірник тез доповідей щорічної науково-практичної конференції серед викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і студентів ЗНТУ, Запоріжжя, 14–18 квітня 2014 р. В 5 томах. Т. 1 / Редкол. : Ю. М. Внуков (відпов. ред.) та ін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2014. – С. 41-42.

8. Васильєва Л. О. Дослідження ступеню використання вантажопідйомності вагонів при відвантаженні продукції металургійного підприємства / Л. О. Васильєва // Тиждень науки. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 13–17 квітня 2015 р./ Редкол. : Ю. М. Внуков (відпов. ред.) та ін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2015.– С. 184-185.

9. Васильєва Л. О. Прогнозування коефіцієнту використання вантажопідйомності вагонів при відвантаженні металопрокату / Л. О. Васильєва // Тиждень науки. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 18–12 квітня 2016 р. / Редкол.: Ю. М. Внуков (відпов. ред.) та ін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2016. – С. 47-48

10. Васильєва Л. О. Аналіз впливу параметрів металопродукції на коефіцієнт використання вантажопідйомності вагонів / Л. О. Васильєва,

О. О. Широкопояс [Електронний ресурс] // Тиждень науки: щоріч. наук.- практ. конф., 18-21 квітня 2017 р.: тези доп. / Редкол.: В.В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – С. 97-99.

11. Васильєва Л. О. Визначення факторів, які впливають на використання вантажопідйомності вагонів при відвантаженні металопрокату // Тиждень науки. Тези доповідей науково-практичної конференції, Запоріжжя, 18–21 квітня 2017 р. [Електронний ресурс] / Редкол. : В. В. Наумик (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2017. – С. 95-96.

12. Turpak, S. Optimization of the railway transportation schedule of metallurgical enterprise / Turpak S., Vasilyeva L., Lebid H., Padchenko O., Sidorenko Yu. // Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects: thesis, 3-12 May 2017, Dresden (Germany) - Paris (France) / Executive editor: Chernetska-Biletska N. – Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2017. – P. 197-199.

13. Васильєва Л. О. Удосконалення технології доставки продукції металургійного підприємства / Л. О. Васильєва, С. М. Турпак, Д. П. Мирончак // Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку. Тези доповідей Регіональної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 12 квітня 2018 року [Електронний ресурс] / Редкол. : С. М. Турпак (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018.

14. Турпак С.М. Аналіз використання схем навантаження металопродукції на металевих багатооборотних піддонах/ Турпак С. М., Васильєва Л. О., Панова А. Д. / Транспортні системи та технології : Проблеми та перспективи розвитку. Тези доповідей науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 16-20 квітня 2018 року [Електронний ресурс] / Редкол. : С. М. Турпак (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – С. 138-139.

15. Турпак С. М. Підвищення ефективності перевезень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції за рахунок раціонального формування вантажних відправлень / С. М. Турпак, Л. О. Васильєва // Тиждень науки: науково-практична конф.: тези доповідей. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – С.53-55.

16. Васильєва Л. О. Підвищення ефективності роботи пункту навантаження металопродукції визначенням зон роботи кранів / Л. О. Васильєва, О. О. Широкопояс // Транспортні системи та технології : проблеми та перспективи розвитку. Тези доповідей II Регіональної науково-практичної конференції серед студентів, викладачів, науковців, молодих учених, аспірантів і учнів 12 квітня 2019 року [Електронний ресурс] / Редкол.: С. М. Турпак (відпов. ред.) Електрон. дані. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – С. 73-75.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	18
ВСТУП.....	19
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАПРЯМКІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ.....</b>	<b>25</b>
1.1 Сучасна технологія та особливості відправлення готової продукції металургійних підприємств.....	25
1.2 Напрямок удосконалення технічних умов навантаження металопродукції.....	28
1.3 Тенденції розвитку інфраструктури складів готової продукції металургійних підприємств.....	34
1.3.1 Складське встаткування.....	34
1.3.2 Упакування металопрокату.....	38
1.3.3 Маркування й облік готової металопродукції.....	41
1.4 Особливості функціонування мікрологістичної системи відвантаження готової продукції прокатних цехів.....	42
1.5 Аналіз способів відвантаження готової продукції металургійних підприємств споживачам.....	48
1.6 Формулювання мети та задач дослідження.....	49
<b>РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МІКРОЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ВІДВАНТАЖЕННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ.....</b>	<b>51</b>
2.1 Формалізація мікрологістичної системи відвантаження готової продукції.....	51
2.2 Формування підходу до виділення елементів аналізу в мікрологістичній системі відвантаження готової продукції.....	60

2.3	Дослідження параметрів, що обумовлюють використання вантажопідйомності транспортних засобів.....	70
2.4	Дослідження основних схем розміщення та кріплення металопродукції.....	72
2.5	Дослідження параметрів, що обумовлюють ефективне використання багатооборотних засобів кріплення вантажу.....	82
2.6	Дослідження параметрів розміщення вантажу на складах мікрологістичної системи відвантаження готової продукції.....	85
2.7	Висновки по розділу 2.....	95
РОЗДІЛ 3	УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА.....	99
3.1	Розробка методу організації перевезень вузькономенклатурної багатопартійної металопродукції	99
3.2	Визначення параметрів вантажопотоку металопродукції.....	110
3.3	Розробка методики оптимального формування вагонних відправлень .....	114
3.4	Висновки по розділу 3.....	122
РОЗДІЛ 4	ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ.....	124
4.1	Реалізація методології організації формування вантажних відправлень в контексті технологічного процесу роботи пункту навантаження.....	124
4.2	Моделювання роботи пунктів навантаження металопродукції при відправленні залізничним транспортом.....	129



4.3	Моделювання роботи пунктів навантаження металопродукції при відправленні автомобільним транспортом.....	146
4.4	Висновки по розділу 4.....	153
	ВИСНОВКИ.....	155
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	158
	ДОДАТОК А. Аналіз інтенсивності відправлення металопродукції на багатооборотних засобах кріплення.....	175
	ДОДАТОК Б. Принцип дії алгоритму для знаходження оптимального варіанту завантаження вагонів.....	177
	ДОДАТОК В. Статистичні дані з відвантаження металопрокату.....	181
	ДОДАТОК Г. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	184

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

ТУ – технічні умови;

МЛС – мікрологістична система;

МЛС ВГП – мікрологістична система відвантаження готової продукції;

МП – металургійне підприємство;

ГП – готова продукція;

БОЗК – багатооборотні засоби кріплення;

ЦХП – цех холодного прокату.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день металургійна галузь України залишається однією з провідних галузей промислової діяльності. Серед головних проблем металургії є невисокий рівень рентабельності операційної діяльності підприємств. Це обумовлює необхідність вирішення науково-практичних задач, зокрема в сфері транспортної логістики, спрямованих на зниження витрат на доставку готової продукції.

Особливістю металургійних комбінатів України є орієнтованість кожного з них на певні достатньо відокремлені види продукції, висока інтенсивність виробництва якої потребує відповідного формування стабільних потужних транспортних потоків.

Для задач мінімізації витрат на перевезення металопродукції шляхом вибору оптимального виду транспорту, розробки маршрутів руху тощо, є достатньо розвинений спектр методів. Але, якщо розглядати процес доставки з моменту надходження продукції на склад, де здійснюється формування вантажних відправлень, постановка завдань підвищення ефективності перевезень суттєво ускладнюється. Виникає необхідність врахування додаткових факторів, обумовлених технологіями виробничого процесу, підготовки до транспортування, пакування, складування, виконання вантажних операцій, використання багатооборотних засобів кріплення, зважування та ін.

У зв'язку з цим, підвищення ефективності перевезень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції шляхом розробки методів, які б враховували технічні та технологічні особливості формування вантажних відправлень, 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: держбюджетної теми ДБ 02012 «Розробка методів удосконалення міських та промислових транспортних

систем» (2012-2015 рр., номер держ. реєстрації 01112U005344); 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 перевезень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції шляхом розробки та удосконалення методів, які враховують технічні та технологічні особливості формування вантажних відправлень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати систему перевезень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції з огляду на технічні та технологічні особливості формування вантажних відправлень та сформулювати стратегію її розвитку.

2. Формалізувати мікрологістичну систему відвантаження готової продукції (МЛС ВГП) в ланці логістичного ланцюга «прокатне виробництво – магістральний транспорт» металургійного підприємства.

3. Удосконалити методи організації та планування роботи з відвантаження продукції підприємства, які враховують особливості формування вантажних відправлень.

4. Розробити імітаційні моделі функціонування МЛС ВГП для встановлення раціональних параметрів роботи.

5. Удосконалити систему передачі вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції з МЛС ВГП до магістрального транспорту за рахунок використання розроблених методів.

6. Визначити економічну доцільність від впровадження запропонованих заходів щодо підвищення ефективності функціонування МЛС ВГП.

**Об'єкт дослідження** – транспортно-складські процеси мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургійних підприємств.

**Предмет дослідження** – залежності показників ефективності

функціонування МЛС ВГП від технічних та технологічних параметрів формування вантажних відправлень.

**Методи дослідження.** Для визначення змінних, які характеризують використання вантажопідйомності вагонів при відвантаженні металопрокату використано метод головних компонент факторного аналізу.

Для упорядкуванні позицій номенклатури для формування концепції раціонального розміщення металопрокату на складі готової продукції використано АВС-аналіз (метод Парето). В управлінні запасами застосовано FMR-аналіз для визначення місця складування з урахуванням доцільності розміщення найбільш затребуваних позицій продукції ближче до зон відвантаження.

Для визначення параметрів випадкової величини інтенсивності відправлень використано методи статистичного аналізу. Для визначення залежності логістичних витрат від розміру робочого парку багатооборотних засобів кріплення (БОЗК), вибору ефективного варіанту закріплення навантажувальних засобів за зонами обслуговування ділянки відвантаження використано метод імітаційного моделювання із використанням стохастичних дискретно-подійних моделей.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше формалізовано задачу оптимізації функціонування МЛС ВГП в ланці логістичного ланцюга «прокатне виробництво – магістральний транспорт» металургійного підприємства, що дозволяє врахувати вплив всіх груп факторів, які обумовлюють її ефективність за мінімумом загальних логістичних витрат.

Вперше розроблено метод визначення оптимальної кількості БОЗК, який ґрунтується на логістичному підході, методах статистичного аналізу й імітаційного моделювання, та враховує можливість використання як багатооборотних, так і одноразових засобів кріплення.

Удосконалено методи організації та планування роботи з відвантаження готової продукції, які враховують особливості формування вантажних відправлень та дозволяють раціонально використовувати технічні засоби

перевезень.

Отримав подальший розвиток метод АВС-аналізу при визначенні зон складування вантажу в умовах металургійного підприємства, який враховує особливості транспортно-технологічних процесів, що дозволяє зменшити витрати на формування і відвантаження вантажних відправлень.

Отримала подальший розвиток імітаційна модель роботи лінійного фронту навантаження вагонів мостовими кранами за рахунок аналізу різних варіантів закріплення навантажувальних засобів за зонами обслуговування, що дозволяє реалізувати найбільш ефективно управління вантажними роботами.

Отримала подальший розвиток імітаційна модель процесу навантаження на автомобільний транспорт за рахунок збільшення коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів, що дозволяє оцінити та підвищити ефективність використання автотранспорту різних марок та типів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати дозволяють підвищити ефективність функціонування МЛС ВГП металургійного підприємства завдяки розробці методів та моделей, які враховують загальний вплив всіх факторів системи при виборі параметрів її роботи.

Запропонований метод визначення оптимальної кількості БОЗК дозволяє встановити їхній потрібний робочий парк для забезпечення мінімальних логістичних витрат на доставку продукції.

Методика оптимального формування вагонних відправлень дозволяє зменшити потрібну кількість рухомого складу для перевезень та витрати на доставку.

Запропонована процедура визначення найбільш ефективного управління роботою вантажного фронту залізничного транспорту, в основі якої є використання методу імітаційного моделювання, дозволяє знизити витрати в процесі відвантаження металопрокату у вагони.

Розроблена методика імітаційного моделювання процесу навантаження на автомобільний транспорт, яка враховує стохастичний характер ваги окремих

вантажних місць, та дозволяє підвищити ефективність доставки за рахунок збільшення коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів.

Основні наукові результати, які отримано в дисертаційному дослідженні знайшли застосування на ПАТ «Запоріжсталь», 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] – виконана постановка задачі планування тривалості виконання маневрової роботи та її формалізований опис для використання в моделях обслуговування фронтів навантаження металопродукції; [2] – викладені результати досліджень системи перевезень металопродукції підприємств автомобільним транспортом; [3] – представлені методи організації взаємодії виробництва та транспорту металургійного підприємства; [4] – виконані дослідження процесів перевезення вузькономенклатурної крупнопартійної продукції металургійних підприємств, отримана цільова функція оптимізації транспортно-складських процесів; [5] – розроблена модель роботи лінійного фронту навантаження вагонів мостовими кранами та виконано аналіз показників ефективності різних варіантів закріплення навантажувальних засобів за зонами обслуговування; [6] – досліджено фактори, які впливають на транспортно-складські процеси при перевезенні вантажів металургійного підприємства.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на таких науково-технічних конференціях: науково-практичних конференціях «Тиждень науки» (м. Запоріжжя, 2014 р., 2015 р., 2016 р., 2017 р., 2018 р., 2019 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» НУ «Запорізька політехніка» (м. Запоріжжя, 2020 р.).

**Публікації.** Відповідно до теми дисертації опубліковано 6 наукових робіт, у фахових виданнях (з них: 1 стаття у виданні, яке включено до міжнародної наукометричної бази Scopus, 3 статті – Index Copernicus International), 10 тез доповідей на конференціях.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів із висновками, загальних висновків, списку використаної літератури і додатків. Повний обсяг дисертації складає 185 сторінок, у тому числі 153 сторінки основного тексту; 47 рисунків і 39 таблиць, у тому числі 3 на повну сторінку, список використаних джерел із 145 найменувань на 17 сторінках, 4 додатки на 11 сторінках.



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СУЧАСНИХ НАПРЯМКІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ

#### 1.1 Сучасна технологія та особливості відправлення готової продукції металургійних підприємств

Металургійна промисловість є найважливішим компонентом світової економіки, в ній виробляється майже половина всієї продукції промисловості та більше ніж половина всіх товарів, які експортуються у світі. За оцінками спеціалістів, на метали припадає понад 90% конструкційних матеріалів, а в промислово розвинутих країнах виробни з металів складають 2/3 продуктової структури ВВП. Україна знаходиться на 7-му місці серед світових виробників металопродукції, при цьому її частка у світовому виробництві стабільно збільшується.

Прокатне виробництво є завершальним у металургійному циклі. У ньому виробляється близько 80 % всієї товарної продукції підприємства, в якій акумулюються витрати праці всіх попередніх стадій металургійного переділу. Економіка всього підприємства багато в чому залежить від результатів діяльності прокатних цехів, продукція яких майже повністю надходить у народногосподарський оберт [1].

Металопрокат – продукція, яку отримують на прокатних станах шляхом гарячої, теплої або холодної прокатки [2]. Прокат поділяють на такі види, які визначають технологію формування та відправлення вантажних місць [3]:

- сортовий: заготівлі, катанка, квадрат, круг, смуга, фасонний (балки, кутники, швелери, рейки, профіль), арматура;
- листовий: гарячекатаний та холоднокатаний (товстолистовий, тонколистовий); лист, смуга, жерсть;

- труби: електрозварювальні, безшовні, профільні, спеціального призначення.

Існують цехи гарячої прокатки, які виробляють гарячекатаний прокат у листах і рулонах. Цехи холодної прокатки призначені для виготовлення товарної продукції у вигляді холоднокатаних листів і рулонів. Вихідним матеріалом для холодної прокатки є рулони гарячекатаної полоси [4].

Прокатне виробництво в порівнянні з доменним і сталеплавильним переділами характеризується істотними техніко-економічними й організаційними особливостями, які суттєво впливають на транспортно-технологічні процеси [1]:

- технологічний процес прокатки представляє один з видів гарячої й холодної обробки металу тиском;

- потоковість виробничого процесу в прокатних цехах, яка обумовлена значним обсягом виробництва, відсутністю проміжних складів між агрегатами, а також протіканням процесів нагрівання, прокатки, обробки, контролю й відвантаження металу окремими плавками. Розмаїтість сортаменту і якості прокатної продукції викликає наявність у прокатному цеху декількох потоків металу, основними з яких є потоки на обтискних, заготовочних і чистових станах;

- безперервний технологічний процес забезпечується прокатними станами з послідовним розташуванням робочих клітей, напівбезперервної, безперервної й нескінченної прокатки, а також безперервними лінійно-прокатними станами для виробництва готового прокату з рідкої сталі й агрегатів для зачищення, термічної обробки, лудіння, цинкування, лакування, покриття стрічок й листів пластмасами, емалями, алюмінієм;

- мінливість структури виробничого процесу, викликувана різноманіттям вихідних злитків для прокатки й кінцевих видів продукції (по розмірах, масі, профілям і маркам сталі), що прокочують на тих самих станах;

- значна залежність пропускної здатності окремих агрегатів і ділянок виробництва від змін у структурі процесу прокатки, пов'язаних з різною

продуктивністю й розходженнями в трудомісткості окремих профілів і розмірів прокату й марок стали.

Технологічний процес виробництва холоднокатаної листової сталі дуже складний, оскільки потребує застосування різноманітного обладнання й містить велику кількість переділів, а саме [4]:

- травлення гарячекатаної смуги;
- холодну прокатку;
- світлий рекристалізаційний відпал;
- дресирування відпаленого металу;
- різання, промаслення, сортування готової продукції;
- упакування й відвантаження пачок листів і рулонів.

Після дресирування рулони відвантажують споживачам або ріжуть на листи відповідних розмірів на агрегатах поперечної різки або на вузькі смуги на агрегаті повздовжнього різання.

Складність технологічних процесів обумовлюється не лише широким сортаментом прокату, а також процесом підготовки металу, оптимізацією сортаменту за марками, розмірами й обсягами партії металу, що прокатується. У прокатних цехах велику увагу приділяють організації обробки, зберігання, контролю й відвантаження готової продукції [1].

Важливою підсистемою прокатного виробництва є склад готової продукції. У прольоти складу вводяться залізничні колії для завантаження металопрокату та його вивезення на зовнішню мережу або для транспортування у цехи наступних переділів. Всі пристрої та склади прокатних цехів розміщують в одній будівлі, що створює свої особливості в обслуговуванні їх залізничним та автомобільним транспортом [5].

На ділянці приймання готової продукції прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь» виконується відвантаження металопрокату як залізничним, так й автомобільним транспортом. Склади металопрокату розміщуються в останньому прольоті цеху, ширина якого значно перевищує його довжину. Кожен проліт обладнається мостовими кранами, вагами, ножицями. Місткість

фронту навантаження складає 3-9 вагонів, що не дозволяє організувати завантаження маршрутного поїзда встановленої маси за одну подачу [6].

На складах готової продукції прокатних цехів вироби оглядаються, вилучається бракована продукція, впаковуються та відвантажуються на відкритий рухомий склад.

## **1.2 Напрямок удосконалення технічних умов навантаження металопродукції**

Технічні умови розміщення та кріплення металопродукції у рухомому складі є другим важливим фактором, що обумовлює транспортно-складські процеси [7-28].

До 2006 року в Україні діяли Технічні умови розміщення та кріплення вантажів (ТУ) [26]. З 01.07.2006 р. у відповідності з Наказом Міністерства транспорту та зв'язку України від 18 травня 2010 року № 299 [29] розміщення і кріплення вантажів у вагонах і контейнерах повинно відповідати вимогам додатка 14 до «Соглашения о международном железнодорожном грузовом сообщении» (СМГС) [30]. Ці документи містять вимоги до розміщення та кріплення вантажів у вагоні, але вони різняться. Оскільки у роботі розглядаються питання навантаження металопрокату, то проаналізуємо вимоги до розміщення вантажу масою у вагоні більш 50 т.

Загальна маса вантажу та засобів кріплення у вагоні не повинна перевищувати його трафаретної вантажопідйомності, а навантаження від вісі вагону на рейки не повинна перевищувати величин, що допускаються залізницею [26,30,31]. У відповідності з ГОСТ 22235-76 [32] у випадку необхідності несиметричного розміщення вантажу у вагоні різниця у завантаженні візків не повинна перевищувати для чотирьохвісних вагонів – 10 т; для шестивісних – 15 т та для восьмивісних – 20 т [26, 30,31].

Загальний центр ваги вантажів  $H_{\text{цв}}^{\text{заг}}$  повинен розташовуватися на лінії перетину повздовжньої та поперечної площин симетрії вагону. У випадку,

коли такі вимоги не можна виконати за об'єктивними причинами, а також для поліпшення вантажопідйомності та ємності вагонів, допускається зміщення центру ваги відносно повздовжньої та поперечної площин вагону.

Допустимі значення зміщення центру ваги вантажів відносно повздовжньої площини симетрії вагону  $l_{зм}$  за вимогами [26,30,31] наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Допустиме повздовжнє зміщення загального центру ваги вантажу у чотирьохвісному вагоні

Маса вантажу, т	Допустиме повздовжнє зміщення $l_{зм}$ , мм		
	Технічні умови (ТУ)	Додаток 14 СМГС	
		при навантаженні	у шляху прямування
50	1760	750	865
55	850	680	785
60	420	600	720
62	250	550	630
67	70	200	260
70	0	0	60
> 70	0	0	0

Як бачимо, діючі значення допустимого повздовжнього зміщення загального центру ваги вантажу при завантаженні вагону понад 60 т значно перевищують обмеження за ТУ. Крім того, допускається зміщення під час перевезення до 865 мм залежно від загальної маси вантажу.

За вимогами Технічних умов (1988 р.) [26] поперечне зміщення загального центру ваги вантажів від вертикальної площини, в якій знаходиться повздовжня вісь вагону, допускалося у будь-яких випадках не більш 100 мм. В окремих випадках для виконання вимог про розташування загального центру ваги вантажу у вагоні необхідно баластування вагону. При несиметричному розташуванні вантажів у вагоні, залежно від їхньої загальної ваги, допускалося

одночасне суміщення  $H_{\text{цв}}^{\text{заг}}$  вздовж вагону від вертикальної площини, що проходить через поперечну вісь вагону (табл. 1.1); при цьому поперечне суміщення від повздовжньої осі симетрії – не більш 100 мм. Але, одночасне суміщення  $H_{\text{цв}}^{\text{заг}}$  поперек вагону від вертикальної площини, що проходить через повздовжню вісь вагону (табл. 1.2) та повздовжнє зміщення  $H_{\text{цв}}^{\text{заг}}$  від поперечної вісі симетрії вагону не допускається.

За Правилами розміщення та кріплення вантажів [30] допустима величина зміщення загального центру ваги у поперечному напрямку  $b_{\text{зм}}$  (відносно повздовжньої вісі симетрії) при навантаженні та при перевірках у шляху прямування визначається в залежності від загальної маси вантажу у вагоні та висоти загального центру ваги вагону з вантажем над рівнем верху головки рейки  $H_{\text{цв}}^{\text{заг}}$ . Допустимі значення поперечного зміщення загального центру ваги вантажу наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Допустиме поперечне зміщення загального центру ваги вантажу у чотирьохвісному вагоні

Маса вантажу, т	$H_{\text{цв}}^{\text{заг}}$ , м	Допустиме поперечне зміщення $b_{\text{зм}}$ , мм		
		Технічні умови (ТУ)	Додаток 14 СМГС	
			при навантаженні	у шляху прямування
50...55	$\leq 1,2$	-	250	350
	1,5	220	200	280
	2,0	170	180	250
	2,3	150	140	200
55...67	$\leq 1,5$	180	150	220
	2,0	140	120	170
	2,3	120	100	150
67...70 (ТУ) 67 (СМГС)	$\leq 1,5$	23	125	180
	2,0	23	95	140
	2,3	23	80	120
> 70(ТУ)	$\leq 2,3$	0	-	-
> 67(СМГС)	$\leq 2,3$	-	70	100

Порівняння допустимих значень зміщення загального центру ваги у поперечному напрямку показує, що за Правилами розміщення та кріплення вантажів [30] при завантаженні вагону до 67 т  $b_{3M}$  має значення, більші за 100 мм, як це передбачено ТУ [26]. За новими Правилами також допускається поперечне зміщення  $b_{3M}$  у шляху прямування від 100 до 350 мм залежно від значень загального центру ваги вантажу  $H_{ЦВ}^{заг}$  та маси вантажу у вагоні. Крім того, допускається одночасне зміщення загального центру ваги вантажу відносно повздовжньої та поперечної площин симетрії вагону у межах значень, наведених у таблицях 1.1 та 1.2. За старими Технічними умовами [26] одночасне суміщення  $H_{ЦВ}^{заг}$  у повздовжньому та поперечному напрямках має обмеження, які були вказані вище.

Стосовно криво симетричного розташування вантажів однакової маси у вагоні: вона допускається за умови, що  $H_{ЦВ}^{заг}$  не перевищує 2,3 м, загальний центр тяжіння вантажів знаходиться на перетині повздовжньої та поперечної площин симетрії вагону (рис. 6 [30]). При цьому від центрами тяжіння вантажів у повздовжньому на поперечному напрямках не перевищують величин, які визначаються в залежності від маси вантажу за табл. 1.7 [26] або табл. 11 [30]. Ці значення за Технічними умовами [26] та за Правилами розміщення та кріплення вантажів [30] не відрізняються.

Таким чином, як зазначено Турановим Х.Т. [33], в Правилах розміщення та кріплення вантажів [30] заздалегідь, ще до того, як рухомий склад знаходиться у шляху прямування, дозволяються зміщення вантажів у вагоні, як у повздовжньому, так і в поперечному напрямках. Дозволені зміщення сягають значних величин як у повздовжньому, так і у поперечному напрямках. При цьому можливе вивертання упорних засобів кріплення, що призведе до їхнього руйнування. Це може сприяти створенню ситуації, яка загрожує безпеці руху, збереженню деталей рухомого складу. Дослідження показало, що при зміщенні центра ваги вантажів як вздовж, так і поперек кузову, найбільше перевантаження зазнає передній візок, що може призвести до перевантаження

буксових вузлів (перегріву), надресорних балок, бічних рам візків вагону тощо. Для забезпечення безпеки руху, схоронності перевезених вантажів та деталей рухомого складу автори [30] пропонують вантажовідправникам розробляти такі схеми завантаження вагонів, при яких загальний центр ваги вантажів співпадає з осями симетрії вагону навіть в збиток використання корисної площі кузову та вантажопідйомності вагону. Наслідки порушення Технічних вимог до розміщення та кріплення вантажів у вагонах призводять до загрози безпеки руху поїздів. В роботах Туранова Х.Т., Тимухіної О.М. [34-37] також розглядаються деякі питання, які стосуються цієї проблеми. При розміщенні вантажів у вагонах передбачено, що загальний центр ваги повинен розташовуватися на лінії перетину повздовжньої та поперечної площин симетрії вагону.

При розміщенні вантажу у піввагоні допускаються наступні навантаження на поверхню кришки люку [30]:

- питоме навантаження на ділянку поверхні люку розміром до  $25 \times 25 \text{ см}^2$  повинно бути не більш  $3,68 \text{ кгс/см}^2$ ;

- навантаження, яке рівномірно розподілене по всій поверхні люку, повинно бути не більш 6 тс;

- навантаження, що передається через прокладки становить: при розміщенні вантажу на двох підкладках (довжиною не менш 1250 мм), які укладені поперек гофрів на відстані 700 мм один від одного та на рівних відстанях від хребтової балки та бічної стіни вагону, повинно бути не більш 6 тс. При розміщенні вантажу на підкладках, які розташовані поперек рами вагону на двох люках між гофрами з одночасним спиранням на хребтову балку та на полиці повздовжніх кутків нижньої обв'язки піввагону, сумарне навантаження, що передається через одну підкладку на пару люків, не повинно перевищувати 8,3 тс. Допускається на одній парі люків встановлювати декілька таких підкладок, при цьому сумарне навантаження на підкладки не повинно перевищувати 12,0 тс.



Для забезпечення безпеки руху, схоронності перевезених вантажів та деталей рухомого складу вантажовідправникам пропонується [30] розробляти такі схеми завантаження вагонів, за яких загальний центр ваги вантажів співпадає з осями симетрії вагону навіть у збиток використання корисної площі кузову та вантажопідйомності вагону.

Для розміщення й транспортування у вагонах рулонів прокату великої маси (попит на які значно зростає) використовуються різні багатооборотні засоби кріплення, які дозволяють розмістити й зафіксувати рулон за допомогою вантажозахватного механізму без застосування додаткових технічних засобів, пристосувань і ручної праці. Для транспортування використовують багатооборотні металеві рами конструкції ВАТ «Новолипецький металургійний комбінат» [27], комплекти з двох металевих рам конструкції ПрАТ «Запоріжсталь» [30] та ВАТ «Магнітогорський металургійний комбінат» [30].

При використанні багатооборотних засобів кріплення рулонів виключається ймовірність ушкодження внутрішніх і зовнішніх витків рулонів у процесі навантажувальних операцій і транспортування, забезпечуються мінімальні переміщення рулону в горизонтальній площині при транспортуванні як під час руху поїзда, так і при виконанні маневрів. Крім того, виключається ймовірність ушкодження й руйнування штирів і торцевих упорів рам при ударах, пов'язаних з різким гальмуванням й/або зупинкою вагона.

Проблемою перевезення рулонного металопрокату є недовикористання вантажопідйомності вагонів. Цю проблему можна вирішувати запровадженням для перевезення прокату вагонів нового покоління: з підвищеним статичним та осьовим навантаженням, більшої вантажопідйомності, а також спеціалізованих платформ, обладнаних засобами розміщення та кріплення рулонів.

### 1.3 Тенденції розвитку інфраструктури складів готової продукції металургійних підприємств

#### 1.3.1 Складське встаткування

Процес складування включає ряд операцій, пов'язаних із прийманням, розвантаженням, перевіркою, зважуванням, обліком, укладанням на місця зберігання і т.д. Вибір типу, ємності й компоновання встаткування складів залежить від виду продукції, способу виробництва й продуктивності цеху. Загальні вимоги по складах металу в прокатних цехах обумовлені необхідністю в забезпеченні нормального технологічного процесу виробництва й виконанні норм безпеки.

У таблиці 1.3 наведені способи складування готової продукції прокатних цехів [39-41].

Таблиця 1.3 – Способи складування готової продукції в прокатних цехах

Найменування продукції	Спосіб укладання вантажу на складі
Прокат гарячекатаний у рулонах	У штабель-піраміду у вертикальному положенні осі рулону, у кілька ярусів (висотою до 4,5 м)
Прокат гарячекатаний травлений і холоднокатаний у рулонах	На стелажах у горизонтальному положенні в один-два яруси
Гарячекатаний товстий лист	У пачках у штабелі висотою до 3,0 м
Гарячекатаний і холоднокатаний лист широкосмугових станів	Пачками в стопах із прокладками висотою до 2,0 м
Холоднокатані листи з полімерним покриттям	Пачками в стопу із прокладками, висотою до 2,0 м

Стелажі, залізничні колії, шляхи передатних візків й інших видів транспорту розміщують так, щоб при транспортних і навантажувально-розвантажувальних роботах не розвертати вантажі в горизонтальній площині.

Для видачі продукції зі складу готового прокату застосовують залізничний і автомобільний транспорт. Переміщення й навантаження металу на складі повинні проводитися за допомогою електромагнітних кранів, механізованих або автоматизованих вантажозахватних пристроїв, без застосування ручної праці.

Майданчики розвантаження й навантаження розміщують у зоні обслуговування кранів. У деяких випадках подача вихідної заготовки (підкату) на склад для наступного переділу здійснюється безперервним транспортом – конвеєрами із цеху, що робить цю заготовку. Склади розташовують у прольотах шириною 24 і 36 м, в окремих випадках – шириною 42 м. Зі збільшенням ширини прольоту підвищується ступінь використання корисної площі будівлі цеху. Застосовують поздовжнє й поперечне розташування металу щодо прольоту складу, що диктується головним чином числом і розташуванням шляхів подачі й видачі металу, а також довжиною вантажів і умовами компоновання технологічного встаткування. При наявності електромостових кранів з обертовою траверсою метал укладається в штабелі шарами хрест-навхрест [39-42].

Устаткування прокатних цехів ділиться на основне й допоміжне. До першої групи ставляться механізми, розташовані в головній лінії прокатного стану, які служать для деформації металу; робоча кліть, шестеренна кліть, привід стану, сполучні обладнання, редуктори. До другої групи ставиться устаткування: зливковози, рольганг, кран, маніпулятор, кантувачі, ножиці, пили, правильні машини, моталки, транспортери та інше допоміжне обладнання.

Крани прокатних цехів займають особливе місце в групі металургійних кранів. Ці крани включені в безперервний технологічний процес і зайняті транспортуванням і складуванням гарячого й холодного прокату. Одними з найпоширеніших кранів прокатних цехів є крани з обертовим візком і крани з підхватами різної вантажопідйомності. Крани також оснащуються механізмом обертання головного гака для транспортування рулонів [43,44].

На відміну від звичайних мостових кранів, металургійний кран звичайно управляється тільки машиністом. Відсутність стропальника вимагає повної механізації захватних органів металургійного крана, тому більшість кранів обладнана жорсткою підвіскою, завдяки якій забезпечується механізація управління підйомно-транспортними операціями крана з кабіни машиніста [45,46]. У прокатному виробництві використовуються підлогово-кришечні, колодязеві, посадкові, магнітні та інші крани. Крім спеціальних, у прольотах прокатних цехів працюють мостові крани загального призначення для транспортно-перевантажувальних та інших робіт.

В умовах специфіки металургійного виробництва вантажопідйомні крани є складовою частиною технологічного процесу виробництва й багато в чому визначають обсяг випуску й рівень якості металопродукції.

Подальший розвиток металургійної промисловості висуває нові вимоги до конструкцій металургійних кранів: їх надійності, продуктивності, вантажопідйомності, механізації й автоматизації управління. Спеціалізація сучасних металургійних кранів, небезпечні й некомфортні умови роботи крановиків обумовлюють актуальність створення кранів-маніпуляторів із програмним управлінням [46-48]. Цьому сприяю такі фактори:

- наявність в експлуатації кранів із твердим підвісом вантажу, що дозволяє забезпечити строго вертикальне переміщення вантажозахватних обладнань;

- відносна одноманітність вантажів по їхній формі й масі;

- порівняно невисока необхідна точність позиціонування вантажозахватного обладнання;

- можливість організації строго регламентованого технологічного процесу, при якому установлюють постійні значення координат вихідного й кінцевого положень об'єктів маніпулювання [47,48].

У цей час на сучасних металургійних підприємствах використовуються роботизовані крани для відвантаження продукції. При передачі готових упакованих рулонів або пачок на склад кран «запам'ятовує» місце знаходження

того або іншого вантажного місця. У процесі навантаження на транспортні засоби в систему управління краном задаються номери вантажних місць, а кран їх уже самостійно «знаходить» на складі й завантажує.

Зі збільшенням маси прокату в рулонах і обсягів їх відвантаження, з'явилася необхідність удосконалення захватів для рулонної сталі, які б задовольняли сучасним вимогам і забезпечували високу продуктивність, надійність і працездатність. У цей час використовуються різні захвати для переробки рулонів масою до 45 т: автоматичні кліщові захвати для переміщення рулонів, як у горизонтальному, так і у вертикальному положенні; навісні й стаціонарні кантувачі, захвати-кантувачі для підйому рулонів з горизонтального й вертикального положення, а також для кантування з горизонтального положення у вертикальне [49-55].

Організація роботи мостових кранів прокатних цехів впливає та технологічний процес транспортного обслуговування складів готової продукції при відвантаженні металопрокату на зовнішній транспорт. Крани здійснюють не тільки переміщення металопрокату між технологічними ділянками основного виробництва, але й задіяні в процесі виконання завантаження вагонів і автотранспорту готовою продукцією. На об'єкті дослідження для обслуговування складів готової продукції задіяно більш 20 мостових кранів, а довжина пролетів складає від 90 до 250 м. За таких умов постає питання раціонального використання кранів.

Питанням ефективності транспортного обслуговування прокатного виробництва металургійних підприємств присвячено багато робіт [56-60]. Як зазначено Парунакяном В. Е. на цей час форми взаємодії прокатного виробництва та транспорту не достатньо ефективні [61]. Окрім недостатньої інтеграції ресурсів виробництва та транспорту, важко розмежувати їх сфери. Так, при відвантаженні продукції металургійного підприємства, задачею транспорту є організація своєчасної постановки та прибирання рухомого складу, а за виробництвом закріплена функція виконання нормативів на вантажні операції. Внутрішньоцехові переміщення вантажів є теж частиною

транспортного процесу, але їх оптимізація не входить до переліку основних функцій виробничих підрозділів [61,62].

Визначення факторів, які впливають на процес внутрішньоцехових перевезень, зокрема, у прокатному виробництві розглянуто в [62], де зазначено, що одним із показників ефективності функціонування вантажних фронтів металургійних підприємств є простій вагонів під вантажними операціями. Це підкреслює актуальність досліджень в логістичному ланцюзі відвантаження металопродукції в транспортно-вантажному комплексі [63,64].

Окрім оптимізаційних задач транспорту, необхідно забезпечити безперервність виробничих процесів, раціональне використання складських площин за рахунок зменшення запасів вантажів [65].

### 1.3.2 Упакування металопрокату

Рулони з листового матеріалу, що виходять із технологічних ліній з обробки поверхні, мають більш високу ціну, однак їхня якість може погіршитися через удари або окиснення поверхні, особливо під час транспортування по морю або зберігання на складі в умовах коливань вологості й температури. Щоб цього уникнути, рулони повинні бути впаковані для запобігання від ушкоджень, які можуть відбитися на ціні продукції.

Упакування металопрокату здійснюється відповідно до вимог ДСТУ 3058-95 (ГОСТ 7566-94) [66] «Металопродукція. Приймання, маркування, упакування, транспортування й зберігання» і Технологічними інструкціями [67].

Упакування пачок холоднокатаних листів проводиться на спеціальних пакувальних конвеєрах за допомогою маніпулятора-укладальника, а упакування рулонів – на спеціальних ділянках, які обладнані маркувальними комп'ютерними комплексами з оформлення й виготовлення маркувальних ярликів на полімерній плівці, які самі клеяться.

Відповідно до вимог ДСТУ 3058-95 для впакування прокату використовуються: пакувальна сталева стрічка перетином; поперечні бруски й поздовжні дошки. У якості тари для впакування прокату застосовують металеві пакети (піддони, ящики) або дерев'яні ящики, тарна тканина, синтетичні плівки або інші матеріали.

У цей час для захисту металопродукції від динамічних навантажень і механічних ушкоджень при виконанні перевантажувальних робіт і транспортування використовуються сучасні високотехнологічні матеріали:

- стільниковий поліпропілен [68], в основі якого лежить полімерний шар, що нагадує структуру бджолиного стільника. У результаті досягаються чудові міцнісні характеристики, що набагато перевершують звичайний «ніздрюватий» лист. Він дозволяє розподілити крапкове навантаження на значно більшу площу, при цьому зменшується сила впливу на площу матеріалу, що захищається, а наявність численних герметичних, заповнених повітрям мікрокамер забезпечує демпферні властивості, що гасять ударні навантаження, які є найбільш пагубними;

- захисні куточки [69] (полімерні або картонні) допоможуть зберегти металопродукцію без ушкоджень кутів і торців при транспортуванні.

При впакуванні пачок використовуються куточки непросічні. При впакуванні рулонів і будь-якої іншої продукції округлої форми застосовуються захисні куточки із просічкою / перфорацією.

Використання куточків у вертикальній площині ( при транспортуванні на палетах) зберігає форму впакування при одночасному захисті кутів. Додаткову твердість упакуванню надає застосування куточків у двох площинах. Захист від механічних ушкоджень забезпечується різними способами: товщиною куточка, шириною полиць, а також співвідношенням ширини полиць різнополичних куточків;

- картонно-навивні шпулі [69] використовуються для намотування металопродукції в рулонах, з метою захисту внутрішніх витків металу від

механічних ушкоджень вантажозахватними механізмами при будь-яких переміщеннях;

- полімерні вставки [69] використовуються для захисту поверхонь і ребер металопродукату. Для циліндричних виробів одна полиця вставки перфорується, що дозволяє встановлювати її на різні діаметри. Це дозволяє захистити від механічних ушкоджень ребра й внутрішню утворюючу рулонної продукції, а також забезпечує схоронність антикорозійного захисту при транспортуванні й зберіганні;

- вплив температурних коливань і вплив вологи – одні з факторів, що значно впливають на схоронність металу. Корозія являє собою саму більшу небезпеку для металопродукції високого ступеня переділу й збереження її споживчих властивостей. Для захисту металопродукату від корозії застосовується антикорозійний папір [68]. Антикорозійний папір складається із основи, що містить інгібітори, і спеціальної поліетиленової плівки, що дозволяє досягти максимального ефекту при захисті металу від корозії;

- замість сталевих стрічок зараз широко застосовують пакувальну ПЕТ-стрічку (поліестерову) [68]. По міцності вона не поступає металевій, а по стійкості до динамічних навантажень перевершує її. Вона рівномірно натягається при обв'язці, надійно скріплюючи пачку або рулон. Для скріплення кінців ПЕТ-стрічки використовують скоби, пряжки або зварювання. При закріпленні методом зварювання міцність упакування збільшується на 80 %;

- для захисту металу на торцях рулонів використовують пластикові торцеві захисні диски [67], зі спіненої композиції поліетиленів або стільникового поліпропілену товщиною 3,0-5,0 мм і стрічки бандажні;

- полімерні мати [69] призначені для захисту поверхні металопродукату від механічних ушкоджень і зовнішнього середовища. Вони забезпечують високий рівень захисту, максимальну зручність упакування, найкращий вид упакування виробів при транспортуванні й зберіганні, не травмонебезпечні.



### 1.3.3 Маркування й облік готової металопродукції

Ідентифікація товару – першочергова потреба будь-якого виробничого процесу, відповідного до стандартів якості. Маркування металопродукції здійснюється згідно ДСТУ 3058-95 (ГОСТ 7566-94).

Маркування наносять безпосередньо на металопродукцію, якщо вона не підлягає впакуванню, і на ярлики, якщо металопродукція впакована в пачки, мотки, рулони, зв'язування мотків або стопи рулонів.

Маркування виконують ударним способом – ручним або машинним тавруванням, електрографіруванням, наклеюванням ярликів з водостійкої плівки, кольоровим лаком або незмивним барвним складом, фарбою.

До сучасних способів маркування металопродукції ставляться:

- точкове матричне маркування фарбою;
- точкове матричне маркування штампуванням (ТММШ);
- точкове матричне лазерне маркування;
- сегментне маркування металізованим спреєм;
- маркування з використанням дискового обертового шрифтоносія;
- маркування етикетками й бирками;
- електронне маркування й ідентифікація.

Лазерне маркування – найсучасніший спосіб нанесення необхідного позначення, використовуваний у металургії. Лазерне маркування має багато переваг:

- широкий вибір нанесених позначень – від одномірних (1D) лінійних штрих-кодів до двовимірних (2D) зображень, у тому числі складних, аж до логотипів і захисних рисунків;
- висока читабельність лазерного маркування. Для зчитування інформації, нанесеної за допомогою лазера, можна використовувати навіть недорогі сканери, причому зі значної відстані;
- дуже висока зносостійкість, у тому числі до температурного й абразивного впливу;

- висока контрастність і чіткість зображень на маркуванні, можливість промальовування зображень практично будь-якого розміру.

Усе більше для маркування використовується робототехніка, що спрощує установку для нанесення маркування. Процес маркування здійснюється в автоматичному режимі. Однією з останніх інновацій є маркування за допомогою радіочастотних бирок і система спостереження ЕМІ.

Використання сучасних маркувальних матеріалів дає певні переваги в порівнянні із традиційними методами [68]:

- можливість використання штрих-коду для подальшої ідентифікації продукції;
- автоматизована ідентифікація й облік металопрокату, як усередині підприємства, так і при транспортуванні до кінцевого споживача;
- виключення помилок при відвантаженні металопродукції;
- взаємодія з автоматизованими системами баз даних;
- простота й автоматизація управління запасами;
- ефективне управління логістичним ланцюгом;
- виключення помилкового нанесення й змивання інформації;
- надійне маркування без відкріплення при транспортуванні;
- міцне приклеювання на мокрі, масляні й нерівні поверхні.

Сучасний рівень розвитку всіх складових технологічної сфери функціонування мікрологістичної системи (МЛС) складів готової продукції металургійних підприємств обумовлюють хід технологічних процесів відвантаження готової продукції.

#### **1.4 Особливості функціонування мікрологістичної системи відвантаження готової продукції прокатних цехів**

Прокатні цехи, які відвантажують готову продукцію, належать до несприятливих ланок металургійного виробництва через нерівномірність, яка спостерігається в транспортному процесі [62].

Склад готової продукції прокатного цеху – складний комплекс технічних обладнань, призначений для управління запасами на різних ділянках логістичного ланцюга й виконання конкретних функцій по зберіганню й перетворенню матеріального потоку.

Мікрологістична система відвантаження готової продукції (МЛС ВГП) включає такі елементи: приймання на склад – вантажопереробку – пакування – комплектацію – відвантаження.

Транспортне обслуговування прокатних цехів включає виконання різних технологічних операцій (відбір вагонів під навантаження, подача на вантажні fronti навантаження й збирання після вантажної операції з наступним поверненням на заводську сортувальну станцію) і має свою специфіку. У роботі Маслак А. В. [70] виконаний аналіз існуючої системи транспортного обслуговування цеху холодного прокату. Проаналізовані простой вагонів, як у прокатному цеху, так і на станції, що обслуговує даний цех, а також визначені фактори, що впливають на тривалість простою вагонів при відвантаженні продукції, пов'язані з роботою локомотивів, що обслуговують прокатні цехи. Однак, не враховані фактори, пов'язані із тривалістю формування вагонних відправлень металопродукції. У роботі також визначені шляхи підвищення ефективності транспортного обслуговування прокатного виробництва. Однак, цільова функція, наведена в роботі, не враховує витрати на складське обслуговування прокату з моменту приймання його з виробництва й до моменту відвантаження у вагони.

Питання теорії управління запасами вивчалися такими авторами як Анікін Б.А., Беляєв Ю.А., Голдобина Н.Н., Голенко Д.І., Кудрявцев Б.М., Рижиков В.І., Лукинський В.В. [70-77]. Цими авторами розроблені різні методи й моделі управління запасами для підприємств різного профілю. Однак, для великих металургійних підприємств, що використовують значну номенклатуру матеріальних ресурсів, необхідна більш універсальна модель управління запасами, яка розглянута в роботі Маслак А. В. [70]. Проаналізований комплекс транспортно-вантажної системи металургійного підприємства по прийманню

сировини із зовнішньої мережі з позиції керування виробничими запасами сировини, однак не приділене уваги питанням відвантаження готової продукції прокатних цехів.

У роботі цього ж автора [62] виконаний аналіз динаміки виробничого процесу великого металургійного підприємства й кількісно оцінені коливання потоків сировини, напівфабрикатів і готової продукції. Встановлено, що прокатні цехи, які відвантажують готову продукцію, поряд із цехами, що приймають масові вантажі (аглофабрика, доменний цех), ставляться до несприятливих ланок металургійного виробництва через нерівномірність, яка має місце в транспортному процесі. Розв'язок питання автор бачить у підвищенні ефективності взаємодії виробництва й транспорту при функціонуванні транспортно-вантажних комплексів приймання сировини й відвантаження продукції на основі переходу на логістичне керування.

Методи, моделі й алгоритми визначення тривалості матеріалоруку в провідному модулі транспортно-вантажного комплексу металургійного підприємства знайшли своє відбиття в роботах Маслак Г. В. [78-81]. Розроблений метод визначення логістичного критерію при різних умовах взаємодії матеріального й документального потоків у провідному модулі логістичного ланцюга, а також загальна модель і алгоритм його визначення. Крім того, у роботі [78] розроблені метод і модель оперативного управління організацією навантаження готової продукції металургійного підприємства на основі логістичного критерію, що дає можливість скоротити знаходження вагонів у системі «транспортно-вантажний комплекс – станція відвантаження».

У роботі Файнштейна С. І., Тутарова В. Д. та ін. [82] розглядається евристична модель складу готової продукції прокатного цеху для розв'язку завдання оперативного планування відвантаження металопрокату. При цьому склад розглядається у вигляді моделі «простір станів» з обумовленої в цьому просторі евристичною оцінною функцією. При виборі функції вирішуються завдання мінімізації часу, витраченого на виконання операцій розміщення й відвантаження замовлення, а також систематизація зберігання металопродукції

в пачках, об'єднаної в штабелі й осередки згідно із загальними ознаками. Вартість кожної припустимої операції на складі визначається як сума позитивних штрафів і негативних премій, нарахованих по всіх параметрах операції. Принцип визначення вартості кожної припустимої операції ґрунтується на методі штрафних функцій [83]. Числові значення штрафів і премій не є наперед заданими величинами, а відіграють роль настройкових констант із реальних даних. Розроблений алгоритм відвантаження замовлення для листового прокату в пачках, однак відсутні пропозиції по відвантаженню рулонного прокату.

У роботах Рахмангулова А.Н., Гавришева С.Е. [84-87] моделюються транспортні процеси металургійних підприємств із використанням транспортних елементів двох типів – «бункер» і «канал». У якості бункера відображаються склади, приймально-відправні колії, вантажні фронти, тобто ті обладнання, на яких можливе нагромадження вагонів. За допомогою каналів у моделі представляються перегони, з'єднувальні колії, а також технологічні операції (огляд, навантаження, вивантаження). У каналі нагромадження вагонів неможливо. У мінливій експлуатаційній обстановці іноді пропускну здатність або місткість одних транспортних обладнань потрібно збільшити, а в інших – спостерігається надлишок потужності. За допомогою пропонованих транспортних елементів можна перерозподілити можливості транспортних обладнань змінюючи технологію роботи.

У роботі Аксьонова М.Л. [88] розроблена комплексна модель системи транспортного обслуговування металургійного підприємства, заснована на створенні матриці взаємозв'язаних операцій, яка описує в цілому роботу промислового залізничного транспорту металургійного підприємства без деталізації транспортних процесів прокатних цехів.

Парунакян В. Е., Маслак А. В. і Аксьонов М. Л. [89] проводять ідентифікацію зовнішнього вагонопотоку металургійного підприємства з розробкою принципової схеми переробки рухомого складу з виділенням чотирьох функціональних модулів, у тому числі й транспортно-вантажний

комплекс навантаження готової продукції прокатних цехів, а в роботі Чернецької-Білецької Н. Б. [90] зроблено аналіз сучасного стану системи організації вагонопотоків та обґрунтовано необхідність її вдосконалення, що дозволяє знизити собівартість перевезень продукції.

Питання внутрівиробничої логістики металургійних підприємств і мікропотоків процеси й загальні економічні концепції мікрологістичних систем розглядаються авторами в роботах [91-95].

Локтіоною О. Е. та Помазковим В. М. [96] запропонована блок-схема укрупненого алгоритму створення мікрологістичної виробничо-транспортної системи, а також визначено критерій оптимізації логістичних витрат в управлінні виробничо-транспортною логістичною системою.

У роботі Парунакяна В. Е. [97] проаналізована технологія взаємодії прокатного цеху й залізничного транспорту в процесі відвантаження металопрокату споживачам. Встановлено, що близько 40 % від загального часу знаходження вагонів на підприємстві припадає на процес навантаження готової продукції й відправлення на станцію здачі. Процес випуску й відвантаження металопрокату має стохастичний характер, на який впливають різні фактори. Це веде до додаткових простоїв вагонів на фронтах навантаження прокатних цехів. Для підвищення ефективності взаємодії виробничо-транспортного процесу при відвантаженні готової продукції необхідний логістичний підхід, який дозволить розділити функції цеху на виробничі й посередницькі (експедиційні).

У статті [98] автори розглядають логістичний транспортно-вантажний комплекс металургійного підприємства, у якому функціональними ланками є його структурні елементи (послідовно виконувані технологічні операції в різних модулях). У якості критерію управління в логістичному ланцюзі авторами прийнята тривалість процесу переробки вантажопотоку (логістичний норматив) і запропонований принцип його визначення. А в роботі [99] ці ж автори розглядають окремі фази мікропотоків процесів металургійного виробництва, зокрема – у напрямку «виробництво – транспорт» (відвантаження

готової продукції), коли металопрокат переходить із фази металопотока прокатного цеху у вантажопотік, у вагонопотік, а потім – у поїздпотік; виділені функції, реалізовані кожної фазою.

Дослідження системи відвантаження готової продукції металургійного підприємства знайшли своє відображення в роботах В. Е. Парунакяна, Г. В. Маслак [100,101]. У продовження робіт [97-99] авторами проведений аналіз фазового переходу в ланцюзі відвантаження готової продукції. Запропонована принципова схема фазового переходу в транспортно-вантажному комплексі «прокатний цех – транспорт» і структурна схема мікропотокowego процесу відвантаження готової продукції. Виявлено, що провідною ланкою даного процесу є модуль «вантажопотік» або транспортно-експедиційний модуль. У роботі розроблена імовірнісна мережна модель із детермінованою мережею для синхронізації металопотоку, документального й інформаційного потоків у процесі матеріалоруку при відвантаженні готової продукції в прокатних цехах металургійних підприємств.

Парунакяном В. Е. у роботі [102] вирішуються питання ідентифікації структури й параметрів матеріального, документального й інформаційного потоків, а також визначені принципи їх взаємодії. Новий підхід до розв'язку завдання взаємодії потоків ґрунтується на розгляді потокового процесу, який відбиває його якісні зміни у певному фазовому просторі. Доведено, що оптимізація логістичного синтез-потоку повинна здійснюватися через параметри потокового процесу матеріалоруку, а також параметрів усіх потокових процесів функціонально з ним зв'язаних.

У статті [61] Парунакяном В. Е. розглядаються показники функціонування виробничо-транспортної системи (ВТС) металургійного підприємства. Представлена функціональна схема процесу матеріалоруку металургійного комбінату. Для розв'язку проблеми запропонований підхід, заснований на розробці оптимізаційних моделей роботи підсистем ВТС із використанням ресурсів виробництва з їхньою інтеграцією в єдину систему, що забезпечить логістичне управління процесом матеріалоруку.

Авторами застосовується логістичний та системний підходи з використанням сучасних методів аналізу та оптимізації транспортних систем. Але запропоновані ними методи не враховують особливості різних видів металопродукції та необхідності більш глибокого рівня деталізації досліджуваних процесів.

### **1.5 Аналіз способів відвантаження готової продукції металургійних підприємств споживачам**

Головними принципами оцінки ефективності просування вантажів з місць виробництва до кінцевих пунктів споживання є логістичні витрати на доставку продукції. Організація процесу доставки вантажів за умови мінімізації логістичних витрат є актуальним питанням і розглядається багатьма авторами [105-109].

Одним з актуальних питань транспортно-логістичного обслуговування процесу доставки металопродукції, є вибір схеми та способу транспортування, які розглядаються такими авторами, як Турпак С. М. та Бабушкін Г. Ф. [110,111]. Логістичні витрати на доставку вантажів складаються з багатьох складових: витрати на вантажні операції протягом технологічного процесу доставки, внутрішньозаводське переміщення та маневрові операції [112], перевезення магістральним транспортом, зберігання на підприємстві та в пунктах перевалки тощо [113].

Одним із напрямків досліджень процесів доставки є імітаційне моделювання, яке розглянуто авторами в [114-1116].

На сьогоднішній день на багатьох металургійних комбінатах України широко використовується два способи відвантаження готової продукції: багатооборотна тара (металеві піддони) та дерев'яні кріплення.

Для відправки за напрямками зі стабільними вантажопотоками використовуються багатооборотні металеві піддони, а за їх відсутності – готова продукція відправляється за допомогою розкріплення на дереві.



Багатооборотні засоби кріплення (БОЗК) дозволяють завантажувати у транспортні засоби та кріпити металопродукат за допомогою спеціальних вантажозахватних механізмів без додаткових пристроїв та пристосувань [30]. Але їх застосування БОЗК призводить до додаткових витрат, пов'язаних з необхідністю повернення під чергове навантаження на підприємство-виробник.

Більшість відомих підходів до визначення логістичних витрат на доставку вантажів не враховують витрати на повернення на підприємство виробника БОЗК, які містять в собі не тільки витрати на транспортування [117], а й витрати на тимчасове зберігання в пунктах призначення вантажу під накопиченням.

Існують різні методики для визначення необхідної кількості технічних засобів для забезпечення перевезення заданого обсягу продукції підприємств, які запропоновані різними авторами в [118-121]. Але аналітичні методи розрахунку потреби у багатооборотних засобах кріплення не враховують стохастичні зміни інтенсивності відвантаження за певними напрямками та можливість відвантаження з використанням одноразових кріплень.

## **1.6 Формулювання мети та задач дослідження**

В ході літературного аналізу за темою дослідження встановлено, що перевезення вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції потребують удосконалення транспортних технологій на етапі формування вантажних відправлень. Коли технологія виробництва обумовлює випадковий характер маси вантажних місць, а ринок – різноманітність замовлень продукції та операторів перевезень, неможливе ні повне використання транспортних засобів за вантажопідйомністю, ні ідеальне розташування вантажів на складах готової продукції з позиції забезпечення найшвидшого завантаження транспорту.

Ситуація ускладнюється постійним удосконаленням та зміною вимог до розміщення вантажу у рухомому складі, транспортно-складських та

технологічних процесів. В загальному логістичному ланцюзі необхідно виділити та дослідити роботу мікрологістичної системи відвантаження готової продукції (МЛС ВГП) металургійного підприємства.

Виходячи з аналізу літературних джерел можна зробити наступні висновки:

- зовнішніми факторами впливу на функціонування МЛС ВГП є технологічні процеси виробництва, що обумовлюють характер вхідних матеріальних потоків, та вимоги щодо розміщення та кріплення вантажів у транспортних засобах, які структурують вихідний потік;

- головним внутрішнім фактором МЛС ВГП є транспортно-складські процеси, які формуються, виходячи з стану інфраструктури складу продукції, рівня організації та управління його роботою, інформаційного забезпечення тощо;

- головною метою дослідження є вироблення ефективної стратегії управління МЛС ВГП в умовах постійного удосконалення транспортних засобів, схем навантаження, технології виробництва та виконання вантажних і транспортно-складських робіт;

- необхідна формалізація досліджуваної системи та її процесів, постановка та вирішення наукових задач оптимізації формування вантажних відправлень за критерієм мінімізації загальних логістичних витрат.

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ МІКРОЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ВІДВАНТАЖЕННЯ ГОТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

#### 2.1 Формалізація мікрологістичної системи відвантаження готової продукції

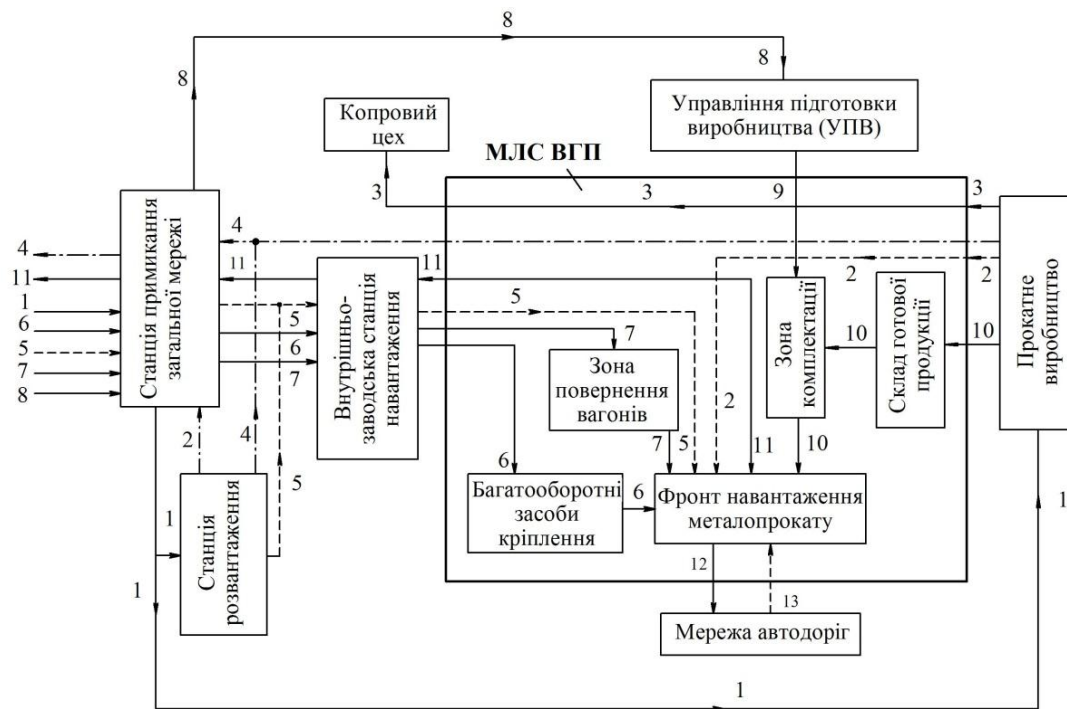
Прокатний цех є частиною логістичної системи металургійного підприємства й виконує окремі конкретні завдання в загальновиробничих процесах приймання сировини, відвантаження готової продукції й технологічних перевезень між цехами підприємства.

Процес прокатного виробництва являє собою сукупність взаємопов'язаних та взаємообумовлених основних і допоміжних технологічних процесів та управлінських робіт, в результаті здійснення яких сировина та матеріали перетворюються у готову продукцію. Для отримання продукції належної якості необхідна якісна сировина, дотримання технології на всіх етапах виробництва прокату і ритмічна робота всіх підрозділів і ділянок прокатних цехів.

Прокатний цех взаємодіє не тільки з виробничими цехами, що забезпечують прокатне виробництво, але й з об'єктами внутрішньозаводського й зовнішнього транспорту (рис. 2.1).

Транспортне обслуговування прокатних цехів металургійних підприємств полягає у виконанні різних операцій з навантаженими й порожніми вагонами: починаючи з подачі порожніх вагонів із заводської сортувальної станції під навантаження в прокатні цехи й закінчуючи збиранням завантажених вагонів з металопрокатом з вантажних фронтів.

На станцію примикання металургійного підприємства надходять вагони із сировинними матеріалами для технологічного виробництва (1), які згодом передаються на фронти вивантаження виробничих цехів.



Умовні позначення:

- |  |  |
|--|--|
| 1 - вагони із сировиною для технологічного виробництва;        | 8 - матеріали для виготовлення засобів кріплення та пакування металопрокату; |
| 2 - порожні вагони з-під вивантаження сировини;                | 9 - потік засобів кріплення та пакування металопрокату;                      |
| 3 - порожні вагони з відходами прокатного виробництва;         | 10 - металопотік (металопрокат);   |
| 4 - порожні вагони, що повертаються на мережу УЗ;              | 11 - вагони із готовою продукцією (металопрокатом);                          |
| 5 - порожні вагони під навантаження металопрокату з мережі УЗ; | 12 - завантажені автомобілі з металопрокатом;                                |
| 6 - вагони з багатооборотними засобами кріплення;              | 13 - порожні автомобілі під навантаження металопрокату.                      |
| 7 - вагони з порушенням умов навантаження;                     |  |

Рисунок 2.1 – Схема проходження матеріальних потоків прокатного виробництва

Після розвантаження сировинних матеріалів порожні вагони передаються на станції навантаження (2), де визначається їхня придатність для здвоєної операції – навантаження металопрокату. Кожний вид металопрокату визначає вимоги, які надаються до порожніх вагонів. При сортуванні вагонів враховують їхній технічний стан і приналежність різним операторам рухомого складу й власникам вагонів.

На станціях навантаження виконують підготовку вагонів зовнішньої мережі, в яких надходять сировинні матеріали, для повторного використання при навантаженні продукції, а також повернення надлишків порожніх вагонів на зовнішню мережу. Тут виконується комплекс операцій, що включає, при необхідності, очищення й підбирання вагонів відповідно до комерційних і технічних вимог та їхню передачу у встановлений строк [103] у виробничі цехи під навантаження заявленого обсягу металопродукції.

Був проведений аналіз використання протягом року вагонів під подвійні операції, який показав, що після вивантаження приблизно 70% порожніх вагонів придатні під навантаження й 30% – непридатні (рис. 2.2). Із загальної кількості вагонів, використовуваних під навантаження металопрокату, 61 % є придатним без застережень, а 9 % – придатні тільки навантаження металопрокату тільки на піддонах. У кількісному відношенні це відповідно: 17911 вагонів – придатні без застережень; 2736 – придатні під навантаження прокату на піддонах і 8697 вагонів – не придатні під навантаження.

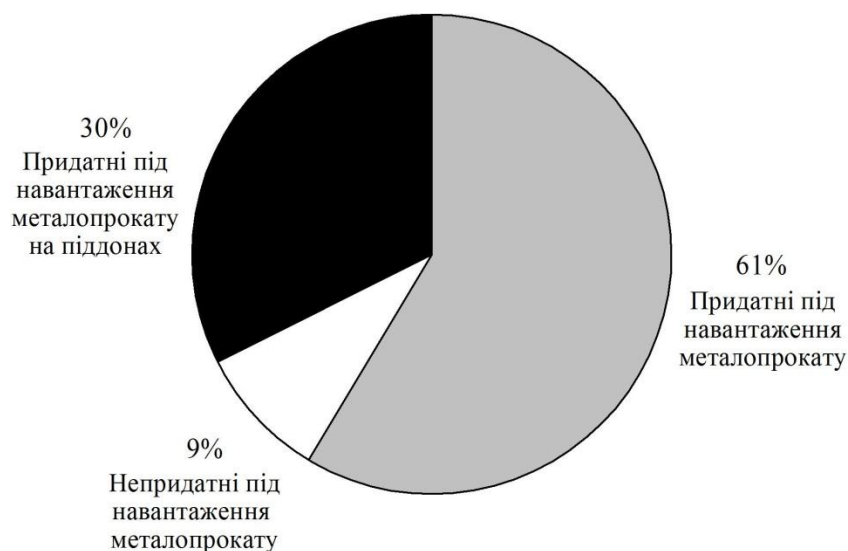


Рисунок 2.2 – Діаграма придатності порожніх вагонів під навантаження металопрокату

Слід зазначити наявність невеликого вантажопотоку відходів металопродукції (3) до копрового цеху.

Надлишки порожніх вагонів формують у передачі й повертають на станцію примикання зовнішньої мережі (4).

Крім вивантажених вагонів під навантаження подаються й порожні вагони із зовнішньої мережі (5). У різні часові періоди співвідношення вагонів, використовуваних після вивантаження, і порожніх вагонів із зовнішньої мережі, міняється. Як показує аналіз, від 50% до 95% вагонів може використовуватися під подвійні операції.

Аналіз використання порожніх вагонів під завантаження з урахуванням номінальної вантажопідйомності (рис. 2.3) показав, що 93 % від загальної кількості – це вагони вантажопідйомністю відповідно 69,0 т (45 %), 70,0 т (36 %) та 71,0 т (12 %). Як правило, такі вагони мають підсилену несучу раму, що дозволяє якнайбільше використовувати їхню номінальну вантажопідйомність при завантаженні рулонного металопрокату. Невелику частку від загальної кількості (7 %) складають вагони іншої вантажопідйомності.

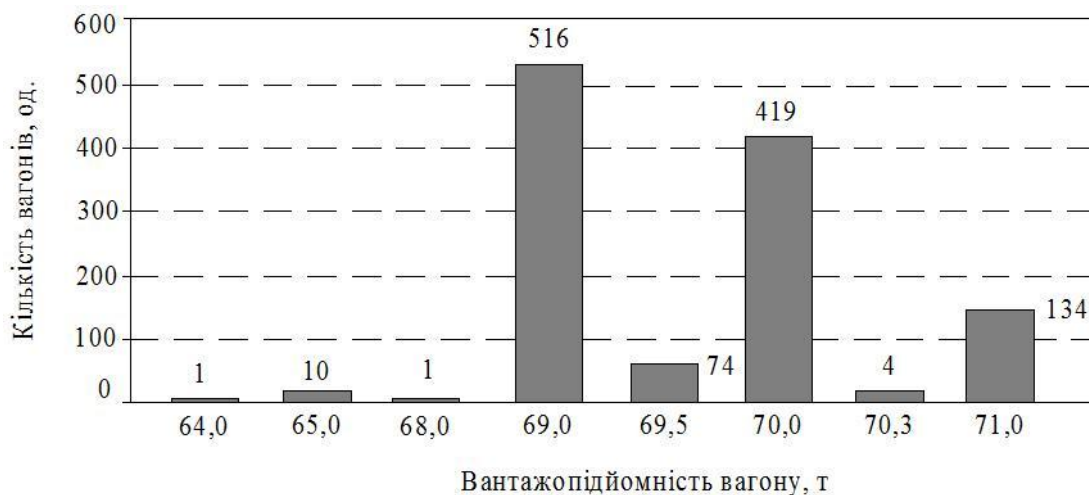
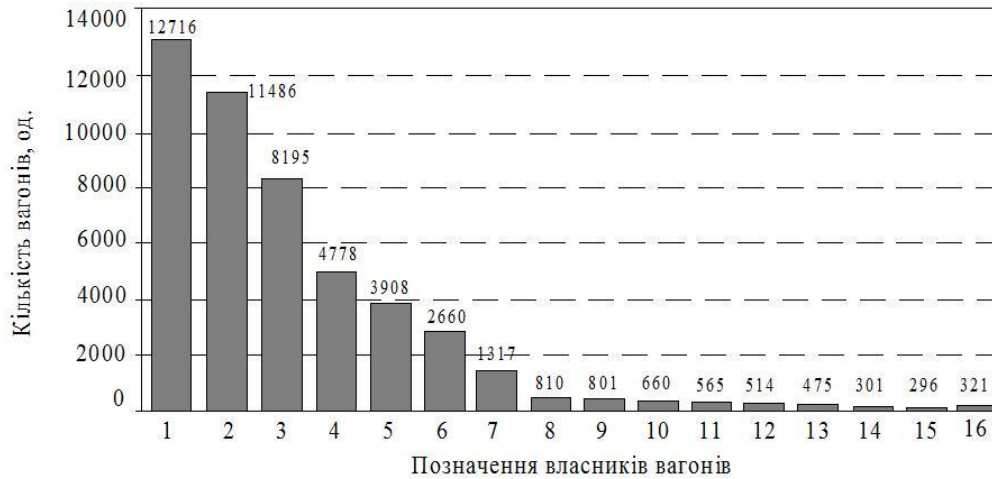


Рисунок 2.3 – Діаграма розподілу порожніх вагонів, що використовуються під завантаження, за вантажопідйомністю

Крім вивчення фактору придатності вагонів, був проведений аналіз у розрізі приналежності вагонів різним власникам, тому що цей фактор обумовлює підбір вагонів під різні види металопрокату. Діаграма розподілу вагонів по їхніх власниках наведена на рис. 2.4.



Умовні позначення:

- 1 - ДП "Дарницький ВРЗ"; 2 - ДП "СВСВ"; 3 - "Металургійна транспортна компанія";  
 4 - "Металургтранс"; 5 - "Центральна транспортна компанія"; 6 - ПАТ "Запоріжсталь";  
 7 - "Первая грузовая компания"; 8 - Укрзалізниця; 9 - "ТалТекТранс"; 10 - "Нафтотранссервіс";  
 11 - власність на адресу клієнта; 12 - ОАО "Новая перевозочная компания"; 13 - "Трансгарант-Україна";  
 14 - "Интерлизингінвест"; 15 - власність без оплати; 16 - інші власники

Рисунок 2.4 – Діаграма розподілу приналежності вагонів, що надходять на підприємство, по власниках

Крім навантажених і порожніх вагонів, на підприємство надходять вагони з багатооборотними засобами кріплення, на яких раніше відвантажувався металопрокат (6), і незначна частина вагонів з порушеннями умов навантаження (7). Ці категорії вагонів після надходження на підприємство із вхідної сортувальної станції одразу передаються безпосередньо в прокатний цех.

Багатооборотні засоби кріплення вивантажуються й, по мірі необхідності, подаються на вантажний фронт для розміщення у вагонах для навантаження металопрокату.

Вагони, не прийняті до перевезення залізницею, подаються в зону повернення прокатного цеху для усунення порушень Технічних умов навантаження з наступним відправленням продукції замовникам.

Крім вагонів із сировиною (1) і порожніх (5), на підприємство надходять вагони з матеріалами для виготовлення одноразових не багатооборотних засобів кріплення й упакування металопрокату (8). Ці вагони подаються в Управління підготовки виробництва (УПП).

За заявками прокатного цеху в міру необхідності засоби кріплення й пакувальні матеріали (9) автотранспортом завозяться в прокатні цехи для пакування й відвантаження металопрокату.

З технологічних ліній прокатних цехів металопрокат (10) надходить на склад готової продукції, де виконується його сортування й підготовка до відвантаження, комплектація по окремих партіях відповідно до заявок споживачів. Кожна сформована партія повинна відповідати вагонній нормі. На наступному етапі оформляється формувальна картка на відвантаження прокату, і продукція надходить у зону комплектації, де проводиться її впакування й маркування.

Металопрокат, сформований у відправлення відповідно до замовлень споживачів, передається на вантажні фронти навантаження прокатних цехів.

Кожний прокатний цех характеризується певним видом продукції, що випускається, способом відвантаження споживачам, кількістю вантажних місць у відвантажувальній партії. Результати аналізу кількості вантажних місць у відвантажувальній партії представлені на рис. 2.5.

Як видно з діаграми, найбільша кількість вагонів відвантажується з металопрокатом у рулонах по 4, 5 і 6 рулонів у відправленні (близько 2/3 від загального обсягу відвантаження). Приблизно третина відвантажених вагонів – це вагони в листовим прокатом у пачках.



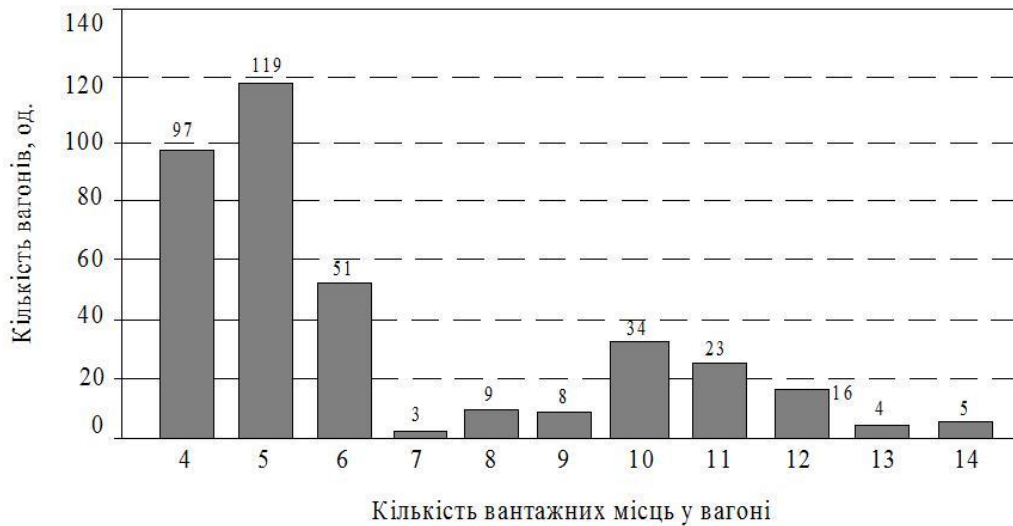


Рисунок 2.5 – Діаграма розподілу кількості вантажних місць у відвантажувальній партії

Кожний прокатний цех має велику кількість вантажних фронтів з обробки транспортних засобів, що перебувають під вантажними операціями. На цих фронтах проводиться вивантаження кріпильних і пакувальних матеріалів для відвантаження металопрокату, навантаження готової продукції й відходів прокатного виробництва.

Порожні вагони під навантаження металопрокату подаються на вантажні fronti задовго до початку навантаження, причому в більшій кількості, ніж потрібно для відвантаження. Це пов'язане з тим, що в прокатних цехах порожні вагони (5) також сортуються для навантаження відповідно до формувальних карток, оформленими на кожен відвантажувальну партію.

Обробка вагонів і автомобілів на вантажних фронтах ускладнюється тим, що навантаження здійснюється кранами, зайнятими не тільки на виконанні вантажних операцій з транспортними засобами, але й в основному технологічному процесі прокатного цеху при передаванні рулонів між технологічними ділянками виробництва.

Вагони з металопрокатом (11) передаються на внутрішньозаводську станцію, що обслуговує вантажні fronti прокатних цехів, а звідти – на станцію примикання загальної мережі для відправлення на станції призначення.

Металопрокат відвантажується із прокатних цехів як вагонними нормами (11), так і автотранспортом (12).

Автотранспортом металопрокат доставляється місцевим споживачам, а також у порт для відвантаження на судна. Порожні автомобілі (13) після вивантаження вертаються в прокатні цехи під чергове навантаження.

Фактори, що впливають на функціонування мікрологістичної системи відвантаження готової продукції (МЛС ВГП) металургійного підприємства представлено на рис. 2.6.



Рисунок 2.6 – Групи факторів, що впливають на логістичну систему відвантаження готової продукції

Критерієм ефективності функціонування МЛС ВГП є економічний – мінімум загальних логістичних витрат. Витрати в цій системі, які не залежать від параметрів вантажних місць, при визначенні цільової функції немає сенсу враховувати. Це, наприклад, витрати, пов'язані з неприйняттям вагонів до перевезень через невідповідність технічним умовам навантаження та кріплення, витрати по перевезенню відходів виробництва та ін.

Від параметрів вантажних місць та характеристик матеріального потоку можуть залежати такі витрати:

- вартість доставки продукції споживачу, що обумовлюється коефіцієнтом використання вантажопідйомності;

- вартість використання засобів кріплення (обумовлюється використанням на інтенсивних напрямках перевезень у якості кріплень – багатооборотних металевих піддонів);

- плата за користування транспортними засобами, які завантажуються продукцією через різні технології роботи складу.

Таким чином, цільова функція приймає наступний вигляд:

$$z = f \left[ C_{\text{дп}}(N_i^{\text{ТЗ}}, c_{\text{дв}}, K_{\text{вп}}); C_{\text{кр}}(N_i^{\text{ТЗ}}, N_i^{\text{БК}}, c_{\text{БК}}, c_{\text{ок}}); C_{\text{пл}}(N_i^{\text{ТЗ}}, c_{\text{ТЗ}}, t_{\text{В}_i}) \right] \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

при обмеженнях:

$$N_i^{\text{ТЗ}} \geq N_i^{\text{БК}} \geq 0, \quad (2.2)$$

$$1 \geq K_{\text{вп}} \geq 0, \quad (2.3)$$

де  $C_{\text{дп}}$  - загальна вартість витрат на доставку продукції споживачу, грн;

$N_i^{\text{ТЗ}}$  - кількість відправлених транспортних засобів з продукцією, од.;

$c_{\text{дв}}$  - вартість доставки відправки, грн/од.;

$K_{\text{вп}}$  - коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортного засобу;

$C_{\text{кр}}$  - витрати на засоби кріплення, грн;

$N_i^{\text{БК}}$  - кількість відправлень з використанням багатооборотних засобів кріплення, од.;

$c_{\text{БК}}$  - витрати на одне відправлення з багатооборотними засобами кріплення, грн;

$c_{\text{ок}}$  - витрати на одне відправлення з одноразовими засобами кріплення, грн;

$C_{\text{пл}}$  - загальна вартість плати за користування транспортними засобами, грн;

$c_{\text{ТЗ}}$  - плата за користування транспортним засобом, грн, яка є функцією від  $t_{\text{В}_i}$  – часу користування транспортним засобом  $i$ -го виду.

Отримана в неявному вигляді функція (2.1) дозволить у подальшому поєднати локальні оптимізаційні методи та сформувавши методологію, яка забезпечить підвищення ефективності МЛС ВГП.

Ефективність функціонування МЛС ВГП досягається шляхом оптимізації таких параметрів функції (2.1), як  $K_{\text{ВП}}$ ,  $N_i^{\text{бк}}$ ,  $t_{\text{В}_i}$ .

## **2.2 Формування підходу до виділення елементів аналізу в мікрологістичній системі відвантаження готової продукції**

Коефіцієнт використання вантажопідйомності вагону при відвантаженні металопрокату залежить від багатьох параметрів: кількості вантажних місць, їхніх габаритних розмірів та маси, схеми завантаження, виду пакування тощо.

Для повної характеристики процесу відвантаження необхідно мати статистичну інформацію для великої кількості різних за фізичною природою ознак. Завдання ускладнюється тим, що деякі параметри не можна безпосередньо виміряти, але вони мають певний вплив на технологічний процес відвантаження металопродукції. Крім того, окремі параметри не можна оцінити кількісно, тому їх можна розглядати як оціночні.

Для визначення змінних, які характеризують використання вантажопідйомності вагонів при відвантаженні металопрокату пропонується використовувати факторний аналіз, основна мета якого полягає у виявленні невеликого числа гіпотетичних величин, відповідних набагато більшій кількості вихідних або експериментальних факторів [122-123]. Фактори повинні бути по можливості простими і досить точно описувати і пояснювати спостережувані величини. Таким чином, факторний аналіз є методом, що впорядковує гадану хаотичність досліджуваного явища, який дозволяє генерувати нові гіпотези. Набір методів факторного аналізу в даний час досить

великий: метод головних компонент, прості методи факторного аналізу, апроксимуючі методи факторного аналізу.

Для об'єднання змінних, які впливають на використання вантажопідйомності, використовуємо метод головних компонент [124]. Цей метод застосовуємо з метою виключення дублюючих змінних та виявлення змінних з найбільшими факторними навантаженнями, які будуть використані у побудові регресійної моделі залежності коефіцієнту використання вантажопідйомності вагонів від даних змінних.

Метод головних компонент має деяку перевагу перед простими методами факторного аналізу, яка полягає в тому, що він здатний виявити достатню кількість характерних факторів при аналізі використання вантажопідйомності вагонів. Перевагою використання методу головних компонент перед груповим методом є те, що він не вимагає попереднього відбору груп елементарних ознак, а це дозволяє спростити аналіз.

Основними задачами компонентного аналізу є [124]:

- пошук окремих груп найбільш взаємозв'язаних факторів, що характеризуються змістовною спільністю і інженерно-економічною сутністю;
- виділення серед отриманих узагальнених факторів однорідних груп;
- отримання аналітичних виразів узагальнених факторів через первинні вхідні параметри, аналіз вхідної множини первинних факторів через взаємозв'язок їх з головними компонентами;
- інтерпретування головних компонент, і їх використання для побудови моделей показників ефективності досліджуваної системи.

На основі обчислених головних компонент можна оцінити силу причинно-наслідкового зв'язку між факторами і виділеними головними компонентами, досліджувати можливості зміни аналізованих чинників під впливом головних компонент. Крім того, результати угруповання по головних компонентах можна використовувати для проведення порівняльного аналізу факторів, за рахунок яких буде можна досягти найкращого використання вантажопідйомності вагонів.

Метод головних компонент виявляє  $k$ -компонент-факторів, що пояснюють всю дисперсію і кореляції вихідних  $k$  випадкових величин; при цьому компоненти будуються в порядку убутання частки сумарної дисперсії вихідних величин, що дозволяє часто обмежитися декількома першими компонентами [123]. Перша головна компонента  $F_1$  визначає такий напрямок в просторі вихідних ознак, за яким сукупність об'єктів (точок) має найбільший розкид (дисперсію). Друга головна компонента  $F_2$  будується з таким розрахунком, щоб її напрямок був ортогонально напрямку  $F_1$  і вона пояснювала якомога більшу частину залишкової дисперсії й так далі аж до  $k$ -ої головної компоненти  $F_k$ . Оскільки виділення головних компонент відбувається в спадному порядку з точки зору частки дисперсії, що пояснюється ними, то ознаки, що входять до першої головної компоненти з великими коефіцієнтами, надають максимальний вплив на диференціацію досліджуваних об'єктів.

Таке перетворення дозволяє знижувати інформацію шляхом відкидання координат, відповідних напрямках з мінімальною дисперсією.

На рис. 2.7 представлений аналіз попередньо відібраних змінних:

- кількість вантажних місць (Кіл\_місць);
- коефіцієнт використання вантажопідйомності (КВВП);
- загальна вага вантажу у вагоні з пакуванням (Брутто\_з\_пакув);
- вага загальна без урахування пакування (Вага\_заг);
- найменування вантажу (Вант);
- схеми навантаження за технічними умовами (Схеми);
- вантажопідйомність вагона (В/п);
- вага тари вагону (Тара\_ваг);
- належність вагону (Власні / загальні);
- вид пакування (Пакування);
- середня вага одного вантажного місця у вагоні (Ср\_вага);
- наявність багатообертових засобів кріплення (Піддон є/ні);
- коефіцієнт варіації ваги вантажних місць у вагоні (Коеф\_вар);
- стандартне відхилення ваги вантажних місць у вагоні (Ст\_відх);

- вага багатообертових засобів кріплення (Ваг\_під);
- загальна вага вантажу брутто разом з піддонами (Заг\_брутто\_з\_під).

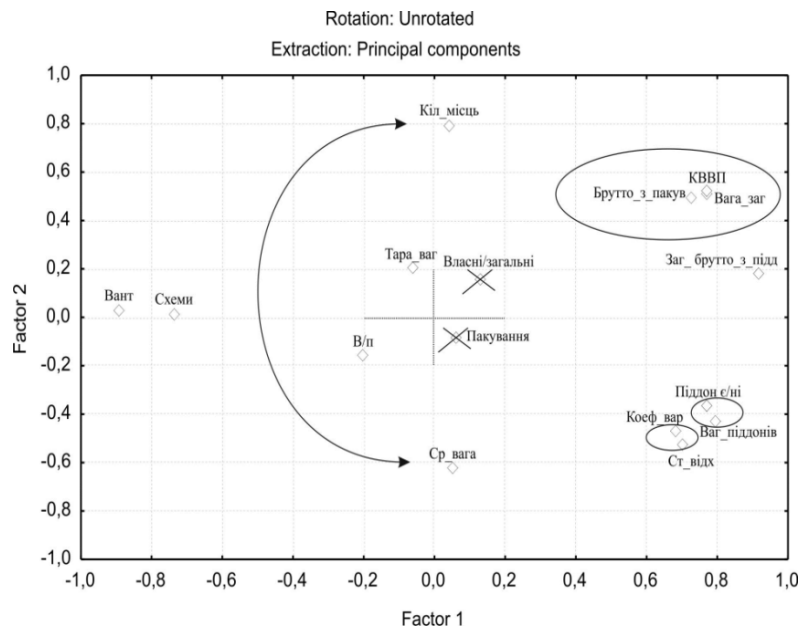


Рисунок 2.7 – Аналіз змінних методом головних компонент

Дані змінні розглядаються в системі координат двох факторів, де можна виділити три групи щільно розташованих змінних:

- коефіцієнт використання вантажопідйомності (КВВП), загальна вага вантажу у вагоні з пакуванням (Брутто\_з\_пакув), вага загальна без урахування пакування (Вага\_заг);
- наявність багатооборотних засобів кріплення (Піддон є/ні), вага багатооборотних засобів кріплення (Ваг\_під);
- коефіцієнт варіації ваги вантажних місць у вагоні (Коеф\_вар), стандартне відхилення ваги вантажних місць у вагоні (Ст\_відх).

При детальному розгляді цих змінних можна зробити наступні висновки. Маса пакування у порівнянні з масою вантажу складає малу частку, тому зі змінних (Брутто\_з\_упак) та (Вага\_заг) достатньо залишити лише одну з них. Крім того, встановлюємо, що коефіцієнт використання вантажопідйомності в даному випадку більш суттєво залежить від ваги вантажу (49,4 ... 68,56 т), ніж від вантажопідйомності вагону (69 ... 71 т).

Тобто з першої групи змінних достатньо залишити одну – (КВВП).

Аналогічно, з другої групи залишаємо (Ст\_відх), оскільки вона первинна для змінної (Коеф\_вар).

З третьої групи залишаємо (Ваг\_піддонів), як більш інформативну, ніж (Піддон є/ні).

З аналізу рис. 2.8 та логічних міркувань можна встановити, що середня вага одного вантажного місця у вагоні знаходиться в оберненій залежності від кількості вантажних місць, тому залишаємо одну змінну – (Кіл\_місць).

Змінні, які характеризують належність вагону «Власні/загальні) та вид пакування (Пакування) мають низьке факторне навантаження, тому виключаються з моделі.

Змінні, які характеризують вантажопідйомність вагона (В/п) та вагу тари вагону (Тара\_ваг), також мають невисоке факторне навантаження, але вони можуть бути керованими змінними (можна обирати оператора з найбільш прийнятними параметрами), тому залишаємо їх в моделі.

Таким чином, для розробки регресійної моделі залежності коефіцієнту використання вантажопідйомності від параметрів системи доцільно залишити такі змінні:

- кількість вантажних місць (Кіл\_місць)  $z_1$ ;
- коефіцієнт використання вантажопідйомності (КВВП)  $z_2$ ;
- найменування вантажу (Вант)  $z_3$ ;
- схема навантаження за технічними умовами (Схеми)  $z_4$ ;
- вантажопідйомність вагона (В/п)  $z_5$ ;
- вага тари вагону (Тара\_ваг)  $z_6$ ;
- стандартне відхилення ваги вантажних місць у вагоні (Ст\_відх)  $z_7$ ;
- вага багатооборотних засобів кріплення (Ваг\_під)  $z_8$ ;
- загальна вага вантажу брутто разом з піддонами (Заг\_брутто\_з\_під)  $z_9$ .

Крім того це можна представити в графічному вигляді (рис. 2.8).





Рисунок 2.8 – Діаграма значень внеску компонент

За всіма переліченими ознаками утворені вихідні дані для методу головних компонент у вигляді кореляційної матриці, представленої у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Кореляційна матриця

Пара- метри	В/п	Вант	Кіл_ місць	Ст. відх.	КВВП	Схеми	Тара _ваг	Заг_ брутто _з під_	Ваг_ під.
В/п	1,00	0,12	0,00	- 0,08	- 0,24	0,25	- 0,16	- 0,16	- 0,05
Вант	0,12	1,00	- 0,11	- 0,59	- 0,58	0,87	0,17	- 0,74	- 0,70
Кіл_ місць	0,00	- 0,11	1,00	- 0,25	0,32	-0,02	0,03	0,06	- 0,20
Ст. відх.	- 0,08	- 0,59	- 0,25	1,00	0,25	- 0,46	- 0,11	0,49	0,74
КВВП	- 0,24	- 0,58	0,32	0,25	1,00	- 0,46	0,06	0,81	0,37
Схеми	0,25	0,87	- 0,02	- 0,46	- 0,46	1,00	0,16	- 0,60	- 0,48
Тара ваг	- 0,16	0,17	0,03	- 0,11	0,06	0,16	1,00	0,00	- 0,07
Заг_ брутто _з під_	- 0,16	- 0,74	0,06	0,49	0,81	- 0,60	0,00	1,00	0,64
Ваг_ під.	- 0,05	- 0,70	- 0,20	0,74	0,37	- 0,48	- 0,07	0,64	1,00

Такі співвідношення являють собою математичні моделі досліджуваного процесу.

При виконанні факторного аналізу використання вантажопідйомності вагонів в умовах металургійного підприємства були виділені ознаки, за якими утворені вихідні дані для методу головних компонент у вигляді кореляційної матриці. Для побудови моделей була використана матриця факторних навантажень, отримана в результаті здійснення компонентного аналізу, яка зведена до 9 виділених компонентів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Компонентний аналіз

Вихідні параметри	Значення вагових коефіцієнтів для власних векторів головних компонент	
	$a_1$	$a_2$
$z_1$	0,199296	0,329971*
$z_2$	0,929393*	0,008750
$z_3$	-0,018444	-0,766681*
$z_4$	-0,715180*	0,457419
$z_5$	-0,714742*	-0,538498
$z_6$	0,802070*	-0,007008
$z_7$	0,114567	-0,372680*
$z_8$	-0,881208*	-0,202307
$z_9$	-0,801194*	0,344164

Примітка: зірочкою позначені факторні навантаження, що включаються в моделі.

Частка розсіяння кожного фактора, пояснювана за допомогою лінійної моделі на головних компонентах, розраховується за формулою:

$$\delta = \sqrt{\sum_{j=1}^r a_{ij}^2}, \quad (2.4)$$

де  $r$  - кількість виділених для аналізу головних компонент;

$a_{ij}$  - коефіцієнт, що характеризує вагу  $i$ -го параметру в  $j$ -й компоненті:

$$z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + \dots + a_{jk}F_k + \dots + a_{jn}F_n; \quad (2.5)$$

$$F_j = \frac{1}{\lambda_r} (a_{ir}z_1 + a_{ir}z_2 + \dots + a_{nr}z_n); \quad F_j = \frac{1}{v_j} \sum_{i=1}^n a_{ij}^* z_i^*, \quad (2.6)$$

де  $v_j$  - власне значення  $j$ -ої компоненти (табл. 2.4)

Складові з величиною факторного навантаження  $f < 0,3$  в моделі не включалися. Розглядаються 2 різновиди моделей.

Внески головних компонентів в загальну дисперсію представлено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Внески головних компонентів в загальну дисперсію

Вид внеску	Величина внеску компонент	
Абсолютний $v_j$	4,001	1,494
Відносний $v_j/m, \%$	44,45	16,60
Абсолютний $v_j, \%$	44,50	61,06

Моделі взаємозв'язку вихідних ознак (параметрів з головними компонентами  $z_i = \varphi(F_j)$ ) побудовані у відповідності з наступною формулою:

$$z_j = a_{j1}F_1 + a_{j2}F_2 + \dots + a_{jk}F_k + a_{jn}F_n \quad (j=1,2, \dots, n), \quad (2.7)$$

де  $z_j$  - нормоване значення ознаки, отримане із моделі;

$a_{j1}, a_{j2}, \dots, a_{jn}$  - коефіцієнти, що характеризують вагу  $k$ -ої компоненти в  $j$ -й змінній;

$F_1, F_2, \dots, F_n$  - значення головних компонент.

Нормовані значення ознак, отриманих із моделі, наведені нижче:

$$\begin{aligned} z_1 &= 0,329971F_2; & z_4 &= -0,715180 F_1; & z_7 &= -0,372680F_2; \\ z_2 &= 0,929393F_1; & z_5 &= -0,714742F_1; & z_8 &= -0,881208 F_1; \\ z_3 &= -0,766681 F_2; & z_6 &= 0,802070 F_1; & z_9 &= -0,801194 F_1. \end{aligned}$$

Моделі взаємозв'язку головних компонент з вихідними параметрами  $F_i = \varphi(z_i)$  побудовані за формулою:

$$F_k = \sum_{j=1}^n \frac{a_{jk}}{\lambda_k} \quad (k=1,2,\dots,m). \quad (2.8)$$

В результаті були отримані наступні моделі:

$$F_1 = \frac{1}{4,001} (0,929393z_2 - 0,715180z_4 - 0,714742z_5 + 0,802070z_6 - 0,881208z_8 - 0,801194z_9);$$

$$F_2 = \frac{1}{1,494} (0,329971z_1 - 0,766681z_3 - 0,372680z_7).$$

Отримані моделі характеризують наступні параметри:

1) модель  $F_1$ : вид металопродукції, стандартне відхилення ваги вантажних місць у вагоні, коефіцієнт використання вантажопідйомності вагону, схеми завантаження вагонів на технічними умовами, загальну вагу вантажу брутто разом з піддонами та власну вагу піддонів (параметри вантажу);

2) модель  $F_2$ : вантажопідйомність вагону, кількість вантажних місць у вагоні та власну вагу (тару) вагону (параметри вагону).

Параметри вантажу, в першу чергу, обумовлюються видом продукції. Так, наприклад, в умовах ПАТ «Запоріжсталь» доцільно виділити такі основні категорії як металопрокат в рулонах та металопрокат в пачках.

Головні статистичні характеристики вантажопотоків цих видів продукції представлені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків основних статистичних характеристик вантажопотоків

Найменування параметру	Об'єм вибірки	Розрахункове значення				
		вибіркове середнє	min	max	дисперсія	стандартне відхилення
Маса рулонів, т	133	6,88	3,64	13,82	7,21	2,69
Маса пачок, т	133	5,48	0,98	7,75	1,63	1,27
Кількість відвантажених вагонів, од.	45	20	10	30	58,61	5,66
Кількість відвантажених рулонів, од.	1088	7,24	4	124	42,57	6,52
Кількість відвантажених пачок, од.	727	11,70	8	64	5,85	2,42
Завантаження вагонів пачками, од.	727	64,56	54,33	70,80	6,34	2,52
Завантаження вагонів рулонами, од.	1088	63,84	39,86	70,98	20,53	4,53

Для аналізу однорідності вибірок використовується процедура t-test for independent samples. Результати розрахунку показані в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Результати розрахунку t-test

Параметр	Mean	Mean	t-value	df	p	Std.Dev.	Std.Dev.	f-ratio
Пачки vs. Рулони	5,5	6,7	-7,6	498	0,01	1,19	2,51	4,44

Графічне відображення результатів відображається на графіках типу «ящик з вусами». На рис. 2.9 показаний графік для маси рулонів та маси пачок.

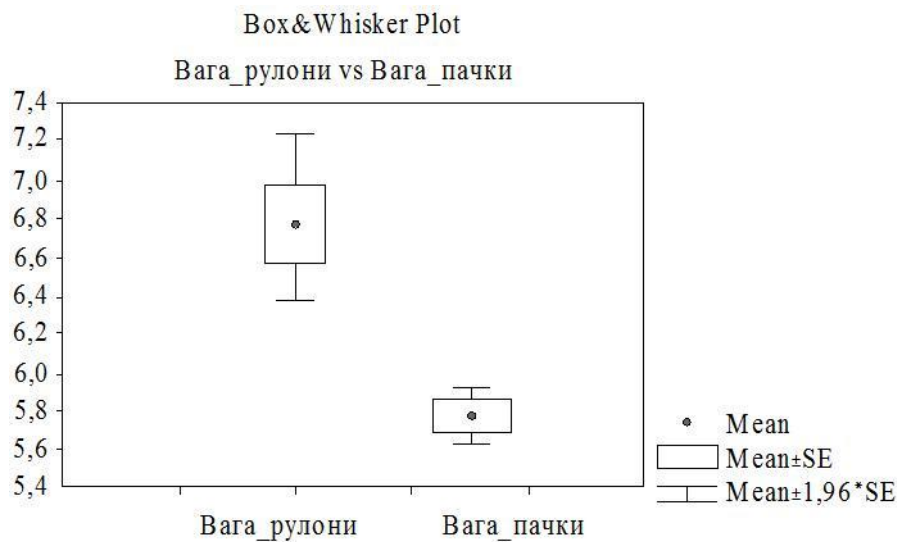


Рисунок 2.9 – Графік типу «ящик з вусами»

За результатами статистичного аналізу, представленого у табл. 2.4, 2.5 та на рис. 2.9 можна зробити висновки щодо неоднорідності виділених вибірок, що підтверджує необхідність їх окремого розгляду.

### **2.3 Дослідження параметрів, що обумовлюють використання вантажопідйомності транспортних засобів**

Вирішення задачі оптимального використання вантажопідйомності залізничних вагонів дозволяє зменшити потрібну кількість рухомого складу для перевезень продукції. В свою чергу, це впливає на вартість провізних платежів та розмір плати за користування вагонами, оскільки при оптимізації один і той же обсяг вантажу може бути перевезений меншою кількістю вагонів.

Проблема недостатнього використання вантажопідйомності транспортного засобу безпосередньо пов'язана з недосконалістю комплектування відправок для різних вантажовідправників [125].

Виконуючи дослідження на базовому підприємстві – металургійному комбінаті ПАТ «Запоріжсталь», встановлено, що основними причинами неповного використання вантажопідйомності рухомого складу є [115]:

- значна частка типових схем навантаження металопрокату розроблено для вагонів вантажопідйомністю 64-65 т, а як показав аналіз, в останній час у загальному вагонообороті збільшується частка вагонів вантажопідйомністю 69 - 71 т (загалом 98 % від загальної частки).;

- для рухомого складу більшої вантажопідйомності за вимогами нормативних документів зменшується припустима нерівномірність навантаження вагону відносно осьових ліній. При вирішенні задачі оптимального розміщення вантажних місць різної маси у рухомому складі більшість методів досліджень виявляються не пристосованими;

- типорозміри виливниць, які використовуються металургійними підприємствами, також історично були пристосовані до формування вантажних місць такої маси, при якій забезпечувалось раціональне використання вагонів вантажопідйомністю до 65 тонн;

- на цей час значний обсяг відвантаження металопрокату у рулонах здійснюється із застосуванням БОЗК – металевих піддонів масою до 5 тонн, що суттєво зменшує масу вантажу у вагоні;

- періодично виникають ситуації, коли на складі готової продукції відсутній металопрокат необхідної марки сталі, розмірів і ваги згідно замовлення споживача;

- через можливі технологічні дефекти, пов'язані з етапами плавки, переділу неможливо прогнозувати кінцеву вагу рулону сталі;

- споживачі при оформленні заказу на поставку металопрокату можуть висувати індивідуальні вимоги до ваги рулонів;

- використання вагонів операторських компаній сприяє зменшенню коливань вантажопідйомності вагонів в составах. Це обумовлює потребу у спрощенні методів підбору вантажних місць для раціонального завантаження вагонів в конкретних умовах певних металургійних підприємств.

За рахунок використання оптимізаційних методів та розробки методів планування і формування вантажних відправлень готової продукції металургійних підприємств можливе удосконалення логістики доставки металопродукції споживачам.

#### **2.4 Дослідження основних схем розміщення та кріплення металопродукції**

Металопрокат, в основному, завантажується у вагони за типовими схемами згідно нормативних вимог [30,31].

Під час дослідження були зібрані статистичні дані за всіма видами металопродукції, що виготовляє прокатний цех базового підприємства ПАТ «Запоріжсталь», для визначення основних схем навантаження,

Результати дослідження основних схем розміщення та кріплення прокату [30], які застосовуються на підприємстві, наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Обсяги відвантаження металопрокату

Номер схеми	Вага нетто, т	Кількість вагонів	Кількість рулонів / пачок		
			загальна	одинарних	подвійних
1	2	3	4	5	6
<b>Гарячекатаний лист у пачках</b>					
4.2.12	67,80	1	8	0	0
4.2.13	67,73	1	9	0	0
4.2.14	767,60	13	131	0	0
4.2.4	296,34	5	42	0	0
Разом г/к пачки	1250,23	23	198	0	0
<b>Гарячекатаний рулон</b>					
15.10	10011,08	173	868	0	868
15.11	28591,28	506	2100	0	2100
15.18	24614,41	430	2089	368	1721
15.5	62,95	1	12	12	0
15.6	1431,72	23	228	228	0



Продовження таблиці 2.6

1	2	3	4	5	6
15.11	67,04	1	5	0	5
Разом г/к рулони	65661,58	1151	5370	612	4758
Усього г/к прокат	66911,80	1174	5568	612	4758
Холоднокатана смуга					
15.31	2 151,82	35	415	414	1
15.32	127,22	2	26	22	4
15.33	257,02	4	60	42	18
Разом х/к смуга	2536,06	41	501	478	23
Холоднокатаний лист у пачках					
	61,49	1	12	0	0
4.2.12	67,99	1	12	0	0
4.2.13	118,69	2	21	0	0
4.2.14	55640,89	882	11257	0	0
4.2.4	3972,27	62	722	0	0
4.2.5	432,67	7	83	0	0
4.2.6	196,72	3	61	0	0
4.2.7	8481,38	135	1529	0	0
Разом х/к пачки	68972,09	1093	12815	0	0
Холоднокатаний рулон					
	62,50	1	12	12	0
15.15	65780,11	1136	7232	3131	4101
15.31	46521,40	777	7146	6056	1090
15.32	25923,62	421	3863	3366	497
15.33	2558,50	42	506	506	0
Разом х/к рулони	140846,13	2377	18759	13071	5688
Усього х/к	212354,27	3511	32075	13549	5711
Загальна кількість	279321,39	4686	37655	14161	10469

Для проведення аналізу схем завантаження піввагонів металопродукцією визначене відсоткове відношення кожного з її видів, відвантажених споживачам, а результати розрахунку наведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Розподіл обсягів відправлення прокату за схемами завантаження

Гарячекатаний прокат			Холоднокатаний прокат		
Вид вантажного місця	Схема	Доля відвантажених вагонів, %	Вид вантажного місця	Схема	Доля відвантажених вагонів, %
1	2	3	4	5	6
Рулони	15.10	3,70	Рулони	15.15	24,24
Рулони	15.11	10,80	Рулони	15.31	16,6
Рулони	15.15	0,34	Рулони	15.32	8,98
Рулони	15.18	9,22	Рулони	15.33	0,90
Рулони	15.5	0,02	Всього рулони		50,73
Рулони	15.6	0,50	Пачки	4.2.12	0,04
Рулони	15.11	0,02	Пачки	4.2.14	18,82
Всього рулони		24,56	Пачки	4.2.4	1,32
Пачки	4.2.12	0,02	Пачки	4.2.5	0,15
Пачки	4.2.13	0,02	Пачки	4.2.6	0,06
Пачки	4.2.14	0,34	Пачки	4.2.7	2,90
Пачки	4.2.4	0,11	Всього пачки		23,32
Всього пачки		0,49	Стрічка	15.31,32	0,87
Разом гарячекатаний прокат		25,10	Разом холоднокатаний прокат		74,90

ля подальшого аналізу обираємо дані з відвантаження рулонів, оскільки саме для цього виду металопродукції актуальним є питання недовантаження вагонів до повної вантажопідйомності.

Зведені дані з відвантаження рулонів наведені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Відвантаження рулонного металопрокату ЦХП-1

Номер схеми	Вага нетто, т	Кількість рулонів			Кількість вагонів	Частка від загальної кількості, %
		загальна	одинарних	подвійних		
1	2	3	4	5	6	7
Гарячекатаний рулон						
15.10	10011,08	868	0	868	173	4,91
15.11	28658,32	2105	0	2105	507	14,37
15.15	864,31	64	0	64	16	0,45
15.18	24614,41	2089	368	1721	430	12,19
15.5	62,95	12	12	0	1	0,03
15.6	1431,72	228	228	0	23	0,65
Разом	65661,58	5370	612	4758	1151	32,63
Холоднокатаний рулон						
15.15	65780,11	7232	3131	4101	1136	32,21
15.31	46521,40	7146	6056	1090	777	22,03
15.32	25923,62	3863	3366	497	421	11,94
15.33	2558,50	506	506	0	42	1,19
Разом	140782,63	18747	13059	5688	2376	67,37
Всього	206444,21	24 117,00	13 671,00	10 446,00	3 527,00	100,00

За даними табл. 2.8 при відвантаженні гарячекатаних рулонів найбільшу частоту мають схеми 15.10, 15.11, 15.18, холоднокатаних – 15.15, 15.31, 15.32. Вимоги до розміщення та кріплення металопрокату в рулонах за даними схемами наведені в [30,31].

За **схемою 15.10** гарячекатані рулони зовнішнім діаметром до 1700 мм включно, масою від 9 до 12 т включно розміщують у вагоні вертикально по вісі хребтової балки групами по одному, два або три одиниці. Приклад розміщення рулонів за схемою 15.10 наведено на рис. 2.10. Загальна кількість рулонів у вагоні в залежності від їхньої маси може складати від 5 до 7 од.

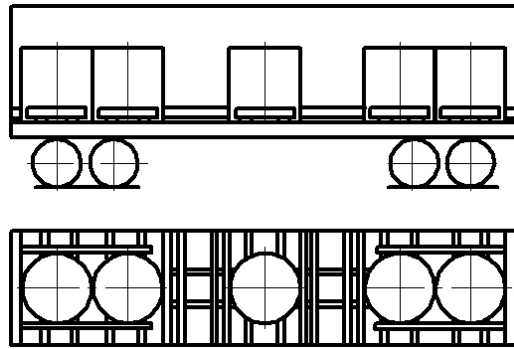


Рисунок 2.10 – Розміщення гарячекатаних рулонів у вагоні за схемою 15.10

Числові характеристики, які визначаються згідно з вибіркою, є приблизними оцінками відповідних характеристик генеральної сукупності. До основних характеристик розподілу належать: вибіркове середнє, вибіркова дисперсія, середнє квадратичне (стандартне) відхилення, коефіцієнт варіації.

У розрахунках для визначення основних статистичних характеристик розподілу використовуємо відомі формули статистики для великої вибірки [126]. За формулами визначаємо: вибіркове середнє, дисперсію, стандартне відхилення та коефіцієнт варіації.

Розрахунок вищезазначених характеристик розподілу проводимо на основі статистичних даних за допомогою модуля Basic Statistics/Tables програми STATISTICA, описаного в [127] і наведеного у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Основні показники використання схеми 15.10

Кількість рулонів	Найменування параметру			
	Середнє завантаження, т	Середня величина недо-завантаження, т	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
4	58,19	10,85	1,07	0,1065
5	63,89	6,93	1,37	0,058

З розрахунку видно, що досліджувана величина має невисокий коефіцієнт варіації. Для даної схеми доцільним є збільшення кількості вантажних місць (до 6 рулонів) із підбором необхідної маси кожного рулону для максимального

використання вантажопідйомності. Згідно технічних умов за даною схемою можуть відвантажуватись рулони масою від 9 до 12 т; кількість рулонів у вагоні – чотири або п'ять. Тому при використанні схеми на п'ять рулонів максимальне завантаження вагону дорівнює 60 т, що є причиною виникнення такого явища як недовантаження вагонів.

За **схемою 15.11** [31] розміщують гарячекатані рулони (аналогічно схемі на рис. 2.8) з відкритими торцями зовнішнім діаметром до 1700 мм включно, масою від 12 до 17 т включно. Розрахунок показників використання схеми 15.11 наведений у табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Основні показники використання схеми 15.11

Кількість рулонів	Найменування параметру			
	Середнє завантаження, т	Середня величина недовантаження, т	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
5	55,37	13,13	1,94	0,147
6	65,73	2,33	1,28	0,123

За розрахунками табл. 2.10 робимо висновок, що відвантаження 5 гарячекатаних рулонів зменшує досліджувану величину недовантаження до мінімально можливого значення, а найбільшу частоту мають рулони масою від 13 до 14 т. Таким чином, застосування схеми завантаження на 5 рулонів значно знижує величину недовантаження вагонів..

За **схемою 15.18** [31] розміщуються рулони листової сталі з відкритими торцями зовнішнім діаметром від 1000 до 1700 мм включно, шириною смуги від 1000 до 1500 мм включно, масою від 3,3 до 18 т включно з використанням комплекту двох металевих піддонів, виготовлених за кресленням М39 - 82209-1СБ ПАТ «Запоріжсталь» [30,31] аналогічно рис. 2.8. Розрахунок показників використання схеми 15.18 наведений у табл. 2.11.

Дана схема застосовується для відвантаження як гарячекатаних, так і холоднокатаних рулонів. Для гарячекатаних рулонів більш доцільним є

відвантаження 5 рулонів з причини достатньо однотипної маси. Витрати на доставку та здійснення логістичних операцій в розрахунку на 1т є меншими при використанні рулонів подвійної маси.

При відвантаженні холоднокатаних рулонів потрібно враховувати вимоги замовника за масою рулонів та обирати найбільш оптимальну кількість вантажних місць для кожного окремого контракту на поставку металопродукції.

Таблиця 2.11 – Основні показники використання схеми 15.18

Кількість рулонів	Найменування параметру			
	Середнє завантаження, т	Середня величина недо-вантаження, т	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
4	54,28	13,13	1,94	0,147
5	59,01	6,73	1,27	0,691
9	61,06	5,78	3,13	0,541
10	58,99	6,78	6,10	0,899
11	64,45	1,99	0,68	0,343

При відвантаженні холоднокатаної листової сталі листової сталі застосовують **схему 15.15** [31] для листової сталі, упакованих з відкритими торцями, зовнішнім діаметром від 1000 до 1500 мм включно, шириною смуги від 800 до 1500 мм включно, масою від 4 до 16 т включно із застосуванням комплекту з двох металевих піддонів (6000×2800×420 мм масою 2,5 т), виготовлених за кресленням ПК 02031.079.0Г ПАТ «Запоріжсталь» [30,31].

Рулони з найбільшою в піввагоні масою розміщують впритул до торцевих упорів піддону, з послідовним зменшенням маси до середини вагона. Допускається розміщення одного рулону посередині вагона на стику двох піддонів, при цьому він повинен бути закріплений з обох сторін пересувними упорами.

Маса рулонів на кожному піддоні повинна бути не більше половини вантажопідйомності вагона з урахуванням маси піддонів.

Розрахунок показників використання схеми 15.15 наведений у табл. 2.12.

Величина завантаження є залежною величиною від маси рулонів, а саме їх оптимальної комбінації за рядом ознак (вимоги замовника, марка сталі, геометричні розміри, напрям слідування) під час формування вантажних відправлень. Оптимальна комбінація за вагою рулонів забезпечує максимальне завантаження вагону, зменшуючи необхідну кількість вагонів.

Таблиця 2.12 – Основні показники використання схеми 15.15

Кількість рулонів	Найменування параметру			
	Середнє завантаження, т	Середня величина недо-вантаження, т	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
4	51,17	12,59	2,00	0,158
6	59,44	5,35	3,74	0,698
8	58,22	8,85	5,60	0,632
10	56,03	7,77	2,80	0,359

**Схему 15.31** [31] застосовують для розміщення і кріплення упакованих рулонів з відкритими торцями з шириною смуги від 500 до 1500 мм включно, масою від 2 до 16 т включно, зовнішнім діаметром від 900 до 1570 мм включно, закріплених на дерев'яних піддонах (ТУ У 20.4-32388296-004-2004) на твірну, з використанням двох металевих піддонів (5980×2800×425 мм і масою 1,9 т), виготовлених за кресленням № ПР 144.00.000 (ТУ У 3-065-004-2003) ПАТ «Запоріжсталь» [30,31]. У карманах металевих піддонів розміщують від 4 до 14 рулонів, закріплених на дерев'яних піддонах (рис. 2.9). Розрахунок показників використання схеми 15.31 наведений у таблиці 2.13.

Схема 15.31 застосовується для відвантаження холоднокатаних рулонів. Максимальне значення досліджуваного параметра спостерігається при відвантаженні 12 та 13 рулонів.

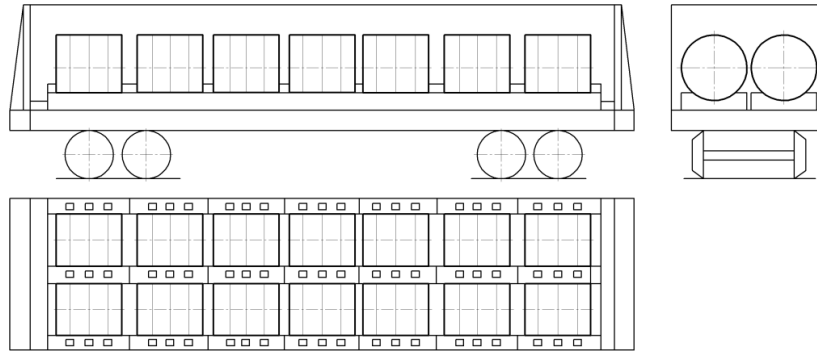


Рисунок 2.11 – Розміщення рулонів в два ряди комбінованим способом над хребтовою балкою за схемою 15.31

Таблиця 2.13 – Основні показники використання схеми 15.31

Кількість рулонів	Найменування параметру			
	Середнє завантаження, т	Середня величина недо-вантаження, т	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
5	58,53	7,34	3,27	0,440
6	62,73	4,48	2,59	0,570
8	60,62	3,51	2,86	0,810
9	60,70	4,43	2,52	0,561
10	61,94	3,79	2,97	0,782
11	62,16	3,76	2,22	0,594
12	63,29	2,72	1,79	0,665
13	63,62	2,71	1,53	0,560

Мінімальні завантаження вагонів за схемою 15.31 пов'язані з обсягом замовлення та напрямом відправлення. Наприклад, контракт передбачав відвантаження двох вагонів (обсяг замовлення 85 т) та ускладнювався неможливістю формування збірної відправки, пов'язаної із відсутністю інших замовлень на дану станцію прямування.

Ще одним шляхом вирішення проблеми неповного використання вантажопідйомності є довантаження вагону додатковим рулоном. Маса рулону



має бути ідентичною величині недовантаження, геометричні розміри рулону мають відповідати залишеному простору у вагоні з урахуванням засобів кріплення та необхідних зазорів для роботи навантажувально-розвантажувальних механізмів. Спосіб завантаження рулонів із різних замовлень, сформованих в одному вагоні, актуальний у випадку слідування вагону в порт для подальшого перевантаження на судно.

За **схемою 15.32** [31] розміщуються рулони шириною смуги від 500 мм до 1500 мм включно, масою до 14 т включно, закріплені на дерев'яних піддонах в горизонтальному положенні. Рулони розміщують симетрично відносно поздовжньої і поперечної площин симетрії вагона.

Розрахунок показників використання схеми 15.32 наведений у табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Основні показники використання схеми 15.32

Кількість рулонів	Найменування параметру			
	Середнє завантаження, т	Величина недовантаження, т	Стандартне відхилення	Коефіцієнт варіації
6	60,71	10,10	6,58	0,657
8	59,93	6,92	4,01	0,573
10	63,09	4,88	2,72	0,551
12	65,86	3,70	3,08	0,832

Проведене дослідження обґрунтовує необхідність інтеграції виробництва, транспорту, складування, збуту металопродукції для мінімізації всіх видів витрат МЛС ВГП підприємства: необхідно розробити технологію, що враховує параметри вантажу та транспортного засобу, та забезпечує максимальне використання вантажопідйомності.

## 2.5 Дослідження параметрів, що обумовлюють ефективне використання багатооборотних засобів кріплення вантажу

На сучасному етапі для перевезення продукції підприємств металургійної галузі широко використовуються БОЗК – металеві піддони, які є зручним та надійним засобом кріплення вантажів у залізничних вагонах, та, на відміну від дерев'яних засобів кріплення, можуть використовуватись багаторазово.

Економічна ефективність БОЗК на типових схемах навантаження обумовила повну відмову від дерев'яних засобів кріплення. Але стохастичний характер обсягів відправлень та розташування станцій призначення споживачів за умови 100% забезпечення піддонами призводить до значного зростання їх робочого парку. При тимчасовому зниженні потреби у піддонах, вони накопичуються на складах, що ускладнює виконання транспортно-технологічних процесів та призводить до збільшення логістичних витрат на доставку продукції.

Аналіз інтенсивності надходження вагонів з багатооборотними засобами кріплення (БОЗК) наведено на рис. 2.12.



Рисунок 2.12 – Аналіз надходження вагонів з багатооборотними піддонами на металургійне підприємство

Ця практична проблема обумовлює виконання досліджень для вирішення наукової задачі визначення оптимального розміру робочого парку БОЗК з

метою ефективного управління процесом доставки. Її вирішення можливе за допомогою відомих існуючих методів, що використовуються для розрахунку потрібного робочого парку вагонів, автомобілів та ін. транспортних засобів, навантажувачів, тари [109-112]. Для визначення цієї величини потрібно знати кількість відправлень та час їх обороту на маршруті перевезень. Але застосовувати відомі аналітичні методи недоцільно при необхідності врахування стохастичного характеру перевезень та додаткових умов і обмежень.

При логістичному підході, якщо врахувати можливість використання не лише БОЗК, а й традиційних одноразових кріплень, доцільно використовувати не тільки технічний, а й економічний критерій – загальні логістичні витрати.

Задача отримання оптимального значення  $N_i^{\text{БК}}$  полягає в знаходженні мінімуму цільової функції виду

$$Z = f(y_1, y_2, \dots, y_n) \rightarrow \min, \quad (2.9)$$

де  $y_i$  - витрати на перевезення за напрямком доставки вантажів  $i$ , грн;

$$y_i = a_i N_i^{\text{БК}} + b(N_i^{\text{ТЗ}} - N_i^{\text{БК}}), \text{ за умов} \quad (2.10)$$

$$0 \leq N_i^{\text{БК}} \leq N_i^{\text{ТЗ}},$$

$$a_i, b, N_i^{\text{ТЗ}} = \text{const} \geq 0, \quad i = (\overline{1, n}),$$

$N_i^{\text{БК}}$  - потрібна кількість БОЗК для  $i$ -го напрямку, од.;

$N_i^{\text{ТЗ}}$  - потрібна кількість транспортних засобів для перевезення на  $i$ -му напрямку, од.;

$a_i$  - коефіцієнт, що враховує вартість вантажних робіт, транспортування, зберігання, амортизаційних відрахувань та ремонту БОЗК за  $i$ -м напрямком;

$b$  - коефіцієнт, що враховує вартість одноразових засобів кріплення та робіт по їх використанню;

$n$  - кількість напрямків доставки.

Тоді функцію (2.9) можна записати у вигляді:

$$Z = \sum_{i=1}^n \left( a_i N_i^{\text{бк}} + b (N_i^{\text{тз}} - N_i^{\text{бк}}) \right). \quad (2.11)$$

Коефіцієнт  $a_i$  враховує середнє значення витрат, пов'язаних з використанням БОЗК. В реальній системі при стохастичному характері руху вантажів, розмір партії БОЗК, яка відправляється з пункту вивантаження, може в оперативному порядку зменшуватись з метою прискорення її повернення. Крім того, коливання обсягів відправлень обумовлюють нелінійний характер тривалості накопичення партії БОЗК та, відповідно, тривалості обороту й потрібного парку. Тобто, замість виразу  $a_i N_i^{\text{бк}}$  необхідно використовувати нелінійну функцію виду  $g(N_i^{\text{бк}})$ , що ускладнює пошук мінімуму функції (2.11).

В таких випадках доцільно використовувати підходи, в основу яких полягає використання стохастичних дискретно-подійних імітаційних моделей. Необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити метод визначення оптимальної кількості БОЗК та створити модель доставки вантажів;
- виконати експериментальні дослідження на розробленій моделі, отримати залежність логістичних витрат від розміру робочого парку БОЗК.

Вирішення даних задач виконано в розділі 3.1.

## 2.6 Дослідження параметрів розміщення вантажу на складах мікрологістичної системи відвантаження готової продукції

ABC - аналіз (метод Парето), який полягає в упорядкуванні позицій номенклатури в порядку убавання питомої ваги з поділом їх на три групи цілком підходить і для формування концепції раціонального розміщення металопрокату на складі готової продукції.

Поруч з цим, доцільним є FMR-аналіз – частковий випадок ABC-аналізу, який являє собою аналіз товарного асортименту по частоті звернень до визначених позицій. В управлінні запасами FMR-аналіз застосовують для визначення місця складування запасів, розміщуючи найбільш часто затребувані позиції продукції ближче до зон відвантаження [128-130]. Даний аналіз характеризується коефіцієнтом частоти звернень:

$$K = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \cdot 100\%, \quad (2.12)$$

де  $P$  - кількість відвантажень  $i$ -го типу продукції,

$N$  - загальна кількість продукції, що відвантажується зі складу, одиниць.

За частотою звернень асортимент зазвичай розбиваються на три групи:

- група А (категорія F) – найбільш часто запитувані товари (80% від загальної кількості);

- група В (категорія M) – менш часто запитувана категорія продуктів (15% від звернень);

- група С (категорія R) – рідко запитувана продукція (решта 5%).

Металопрокат в рулонах.

В залежності від видів рулонів (гарячекатані або холоднокатані) відрізняється спосіб їхнього зберігання. Гарячекатані рулони зберігаються отвором до верху, в декілька ярусів, холоднокатані – установкою на піддон або

стелаж «на торець» в один ярус. Очевидно, що для холоднокатаних рулонів можлива оптимізація розміщення тільки на площині – тобто доцільне розміщення типів рулонів, що користуються найбільшим попитом ближче до місця навантаження їх на трансферкарний візок.

Оскільки холоднокатані рулони різняться за маркою сталі та товщиною металу, доцільно зробити більш детальний аналіз за цими параметрами, використовуючи виробничі дані. В результаті аналізу було встановлено, що товщина металу має прямий зв'язок з параметрами «ширина» та «марка сталі», тобто для поділу на групи параметр «товщина» рулону можна не враховувати. В табл. 2.15 приведені результати розрахунку частоти звернення за окремим типом холоднокатаних рулонів за формулою (2.12).

Таблиця 2.15 – Аналіз частоти звернень для холоднокатаних рулонів

Марка сталі	Ширина рулону, мм	Частка від загальної кількості	Марка сталі	Ширина рулону, мм	Частка від загальної кількості
08КП	1000	53 %	08ПС	1250	100 %
08КП	1100	23 %	08Ю	1080	16 %
08КП	1220	8 %	08Ю	1250	42 %
08КП	1230	12 %	08Ю	1350	42 %
08КП	1250	6 %			

Для марки сталі 08ПС є одна категорія з шириною рулону 1250 мм, підрозділяємо її також на три групи по масі за частотою звернень. На рис. 2.13 показаний поділ на групи рулонів марки 08ПС шириною 1250 мм.

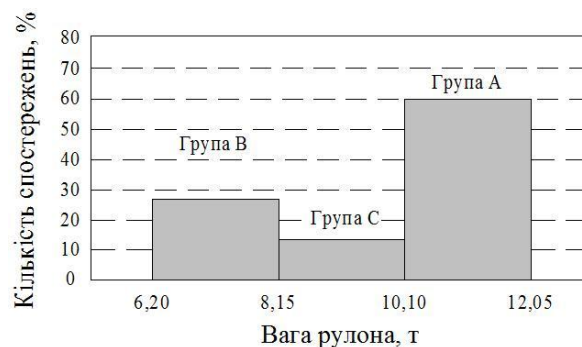


Рисунок 2.13 – Поділ на групи рулонів марки 08ПС шириною 1250 мм

Результати аналізу показують, що у всій множині найбільшою категорією є категорія з маркою сталі 08 КП. Тому, спершу підрозділяємо цю категорію на підкатегорії за шириною рулону: 1000, 1100, 1220, 1230, 1250 мм. Потім в кожній підкатегорії виділяємо 3 групи за масою, та кожній присвоюється назва за критерієм частоти звернень (рис. 2.14).

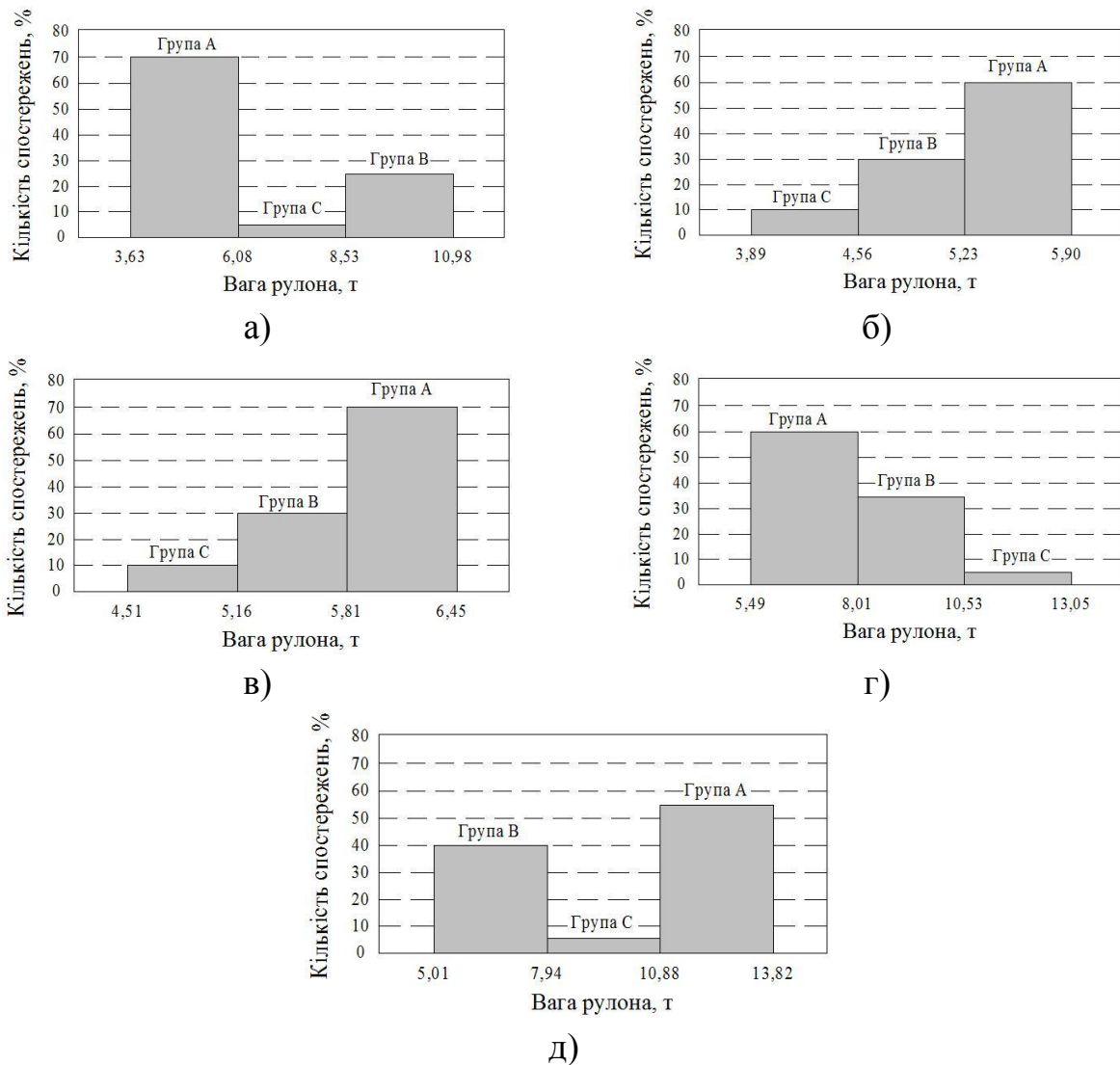


Рисунок 2.14 – Поділ на групи рулонів марки 08КП шириною: а – 1000 мм; б – 1100 мм; в – 1220 мм; г – 1230 мм; д – 1250 мм

Категорія з маркою сталі 08Ю підрозділяється на 3 підкатегорії з шириною рулонів: 1080 мм, 1250 мм та 1350 мм. На рис. 2.15 показаний поділ на групи рулонів марки 08Ю.

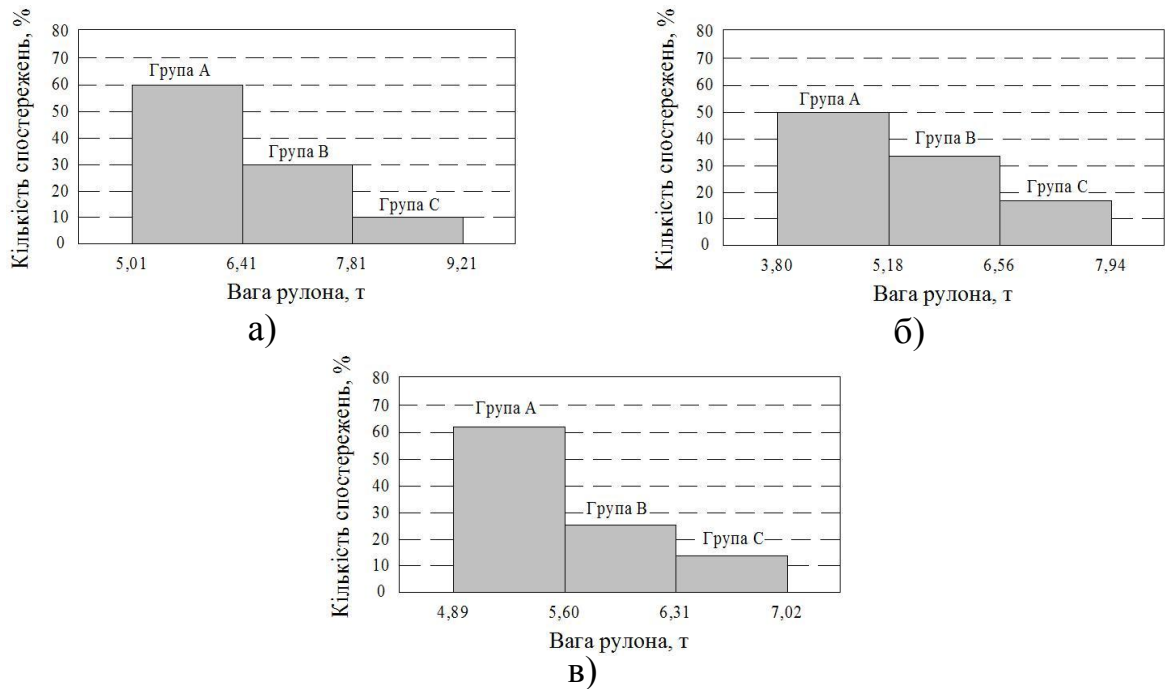


Рисунок 2.15 – Поділ на групи рулонів марки 08Ю шириною: а – 1080 мм;  
б – 1250 мм; в – 1350 мм

Результати розрахунку частоти звернень для прокату в рулонах представлено в табл. 2.16.

Таблиця 2.16 – Результати розрахунку частоти звернень за групами металопрокату в рулонах

Категорія	Ширина рулону, мм	Група	Маса, т	Частота звернень, %
1	2	3	4	5
08КП	1000	Група А	3,63...6,08	72
		Група В	8,53...10,98	24
		Група С	6,08...8,53	4
08КП	1100	Група А	5,23...5,90	60
		Група В	4,56...5,23	30
		Група С	3,89...4,56	10
08КП	1220	Група А	5,81...6,45	60
		Група В	5,16...5,81	30
		Група С	4,51...5,16	10
08КП	1230	Група А	10,53...13,05	60
		Група В	5,49...8,01	34
		Група С	8,01...10,53	6



Продовження таблиці 2.16

1	2	3	4	5
08КП	1250	Група А	10,88...13,82	55
		Група В	5,01...7,95	40
		Група С	7,95...10,88	5
08ПС	1250	Група А	10,10...12,04	60
		Група В	6,21...8,15	27
		Група С	8,15...10,10	13
08Ю	1080	Група А	5,00...6,40	60
		Група В	6,40...7,81	30
		Група С	7,81...9,21	10
08Ю	1250	Група А	3,80...5,18	50
		Група В	5,18...6,56	33
		Група С	6,56...7,94	17
08Ю	1350	Група А	4,84...5,59	62
		Група В	5,59...6,30	25
		Група С	6,30...7,00	13
Середнє значення частоти звернень		Група А		60
		Група В		30
		Група С		10

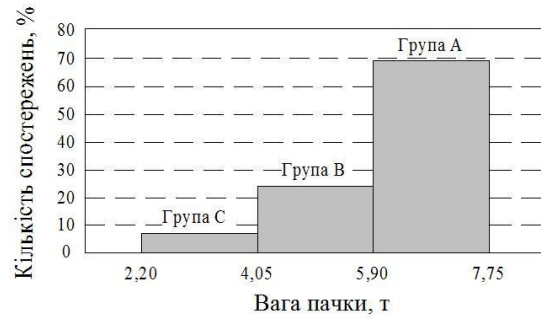
З огляду на підсумкові дані таблиці 2.16, на відміну від традиційного співвідношення 80/20/10, доцільно використовувати співвідношення 60/30/10 при розміщенні металопрокату у рулонах у зоні відвантаження.

Пачки, на відміну від холоднокатаних рулонів, можна укладати в штабелі висотою до 2 м, що дозволяє робити оптимізацію не тільки у горизонтальному напрямку, а й у вертикальному. Принцип аналізу та формування груп аналогічний тому, що застосовувався для рулонів, але для оптимізації розміщення на складі буде застосовуватись критерій марки, та габаритних розмірів, а для розміщення у штабелі – маса та частота замовлень. Оскільки кількість підкатегорій пачок листового металу набагато більша, ніж у рулонів, та більшість з них мають дуже малу частину в загальній кількості (менш 1%), буде доцільним об'єднувати всіх їх в загальну підкатегорію. В табл. 2.17 приведені результати розрахунку частоти звернень за окремим типом пачок листового металу.

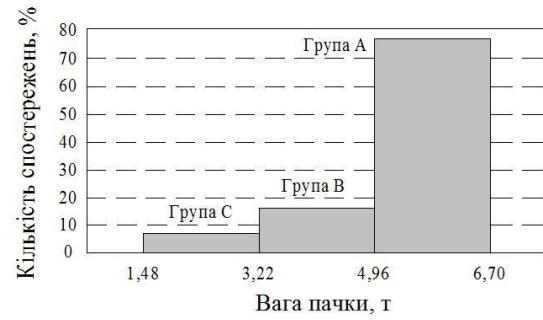
Таблиця 2.17 – Результати розрахунку частоти звернень за групами металопрокату в пачках

Марка сталі	Частка від загальної кількості	Розміри пачки, мм	Частка від кількості в групі
08КП	65 %	1250×2500	65 %
		1000×2000	24 %
		1030×2000	1 %
		1100×2100	5 %
08КП	65 %	1210×2400	1 %
		1270×2500	1 %
		1395×2500	1 %
		1400×2200	2 %
08ПС	16 %	1000×2000	43 %
		1250×2500	33 %
		1270×2500	24 %
08Ю	9 %	1350×2500	53 %
		1250×2500	35 %
		1100×2500	9 %
		1400×2500	3 %
СТЗПС	10 %	990×2000	6 %
		1000×2000	63 %
		1250×2500	31 %

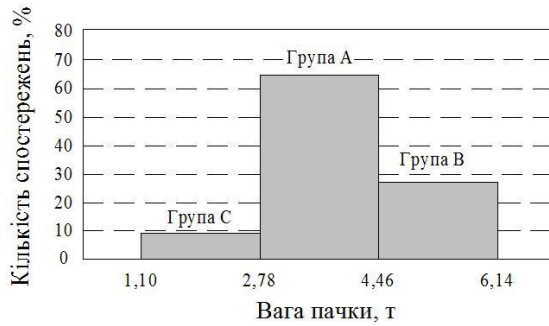
Результати аналізу показують, що у всій множині найбільшою категорією є категорія з маркою сталі 08 КП. Тому, спершу підрозділяємо цю категорію на підкатегорії по ширині та довжині рулону: 1250×2500, 1000×2000, 1030×2000, 1100×2100, 1210×2400, 1270×2500, 1395×2500 та 1400×2200 мм. Потім в кожній підкатегорії виділяються 3 групи за масою, та присвоюється кожній назва за критерієм частоти звернень. На рис. 2.16 показаний поділ на групи металопрокату марки 08КП у пачках за розмірами.



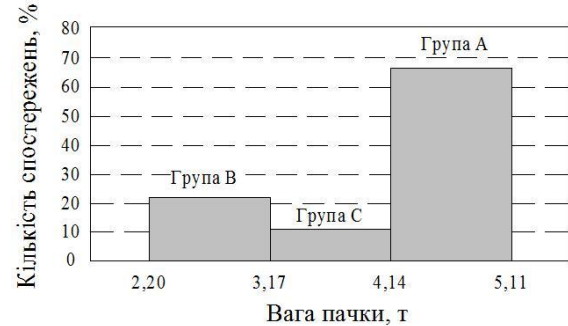
а)



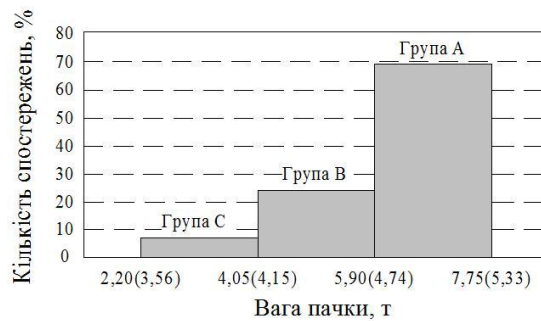
б)



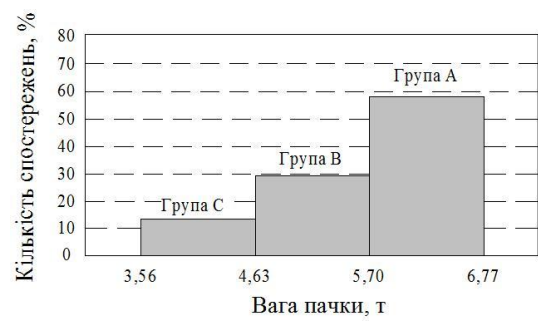
в)



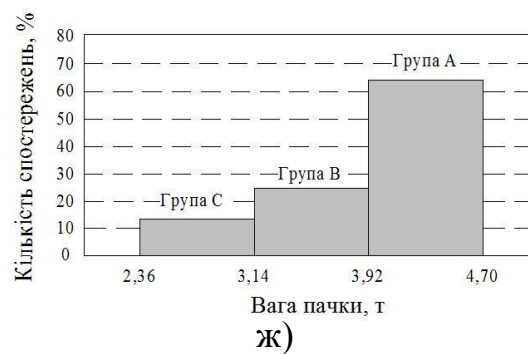
г)



д)



е)



ж)

Рисунок 2.16 – Поділ на групи металопрокату марки 08КП у пачках розмірами:  
 а – 1250×2500 мм; б – 1000×2000мм ; в – 1030×2000 мм; г – 1100×2100 мм; д –  
 1210×2400 мм та 1270×2500 мм; е – 1395×2500мм ; ж – 1400×2200 мм

Категорія листового металу у пачках, з маркою сталі 08ПС підрозділяється на 3 підкатегорії з розмірами: 1000×2000 мм, 1250×2500 мм,

1270×2500 мм. Частота звертань за металопрокатом даної категорії наведена в табл. 2.18.

Категорія листового металу у пачках, з маркою сталі 08Ю підрозділяється на 4 підкатегорії з розмірами: 1350×2500 мм, 1250×2500 мм, 1100×2500 мм, 1400×2500 мм. На рис. 2.17 показаний поділ на групи пачок марки 08Ю.

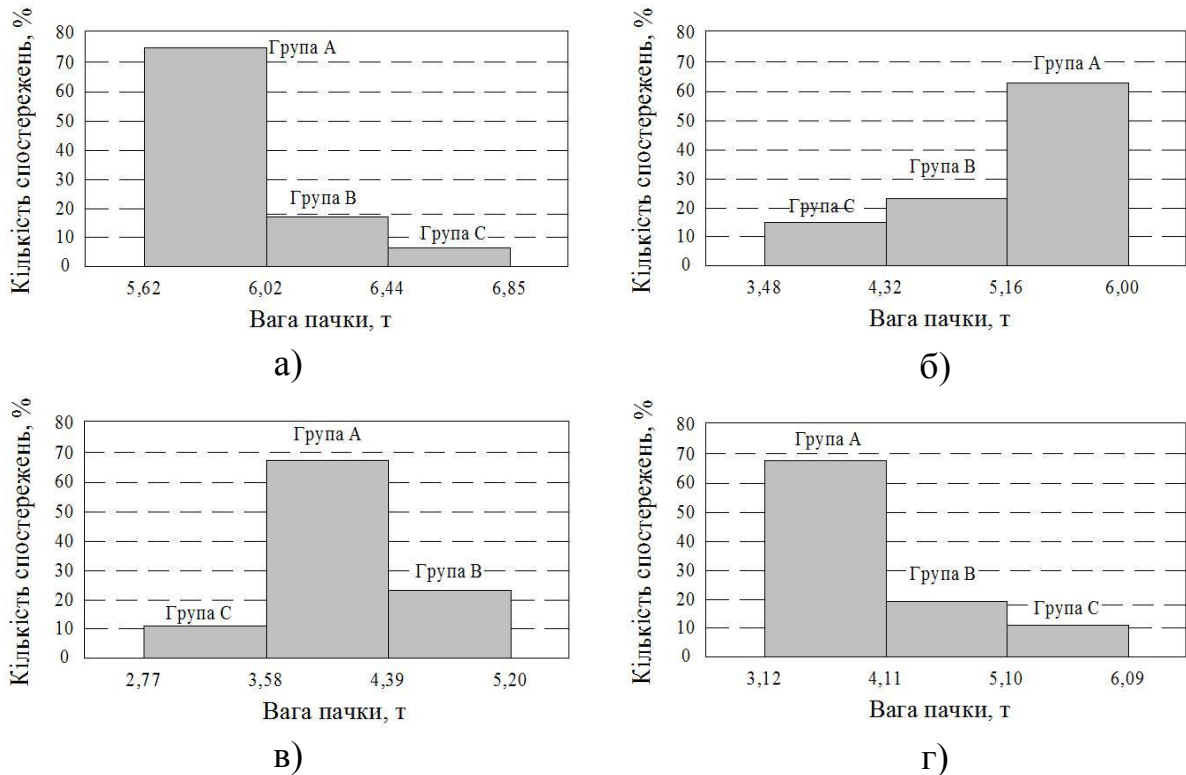


Рисунок 2.17 – Поділ на групи пачок марки 08Ю розмірами: а – 1350×2500 мм; б – 1250×2500 мм; в – 1100×2500 мм; г – 1400×2500 мм

Категорія листового металу у пачках, з маркою сталі СТЗПС підрозділяється на 3 підкатегорії з розмірами: 990×2000 мм, 1000×2000 мм, 1250×2500мм.

Результати розрахунку частоти звернень за металопрокатом даної категорії наведені в табл. 2.18.

Таблиця 2.18 – Результати розрахунку частоти звернень за групами металопрокату в пачках

Категорія	Габаритні розміри, мм	Група	Маса, т	Частота звертань, %
1	2	3	4	5
08КП	1250×2500	Група А	5,90...7,75	69
		Група В	4,05...5,90	24
		Група С	2,20...4,05	7
08КП	1000×2000	Група А	4,96...6,70	77
		Група В	3,22...4,96	16
		Група С	1,48...3,22	7
08КП	1030×2000	Група А	2,78...4,46	63
		Група В	4,46...6,14	28
		Група С	1,10...2,78	9
08КП	1100×2100	Група А	4,14...5,11	67
		Група В	2,20...3,17	22
		Група С	3,17...4,14	11
08КП	1210×2400	Група А	4,51...5,42	62
		Група В	3,60...4,51	25
		Група С	2,69...3,60	13
08КП	1270×2500	Група А	4,74...5,33	62
		Група В	3,56...4,15	26
		Група С	4,15...4,74	12
08КП	1395×2500	Група А	4,63...5,70	58
		Група В	3,56...4,63	29
		Група С	5,70...6,77	13
08КП	1400×2200	Група А	3,92...4,70	63
		Група В	3,14...3,92	25
		Група С	2,36...3,14	12
08ПС	1000×2400	Група А	5,05...5,70	52
		Група В	4,40...5,05	32
		Група С	3,75...4,40	16
08ПС	1250×2500	Група А	4,36...5,81	52
		Група В	2,91...4,36	26
		Група С	1,46...2,91	22
08ПС	1270×2500	Група А	4,90...6,17	64
		Група В	3,63...4,90	29
		Група С	2,36...3,63	7
08Ю	1350×2500	Група А	5,62...6,02	74
		Група В	6,03...6,44	19
		Група С	6,44...6,85	7

Продовження таблиці 2.18

1	2	3	4	5
08Ю	1250×2500	Група А	5,16...6,00	63
		Група В	4,32...5,16	23
		Група С	3,48...4,32	16
08Ю	1100×2500	Група А	3,58...4,39	67
		Група В	4,39...5,20	22
		Група С	2,77...3,58	11
08Ю	1400×2500	Група А	3,12...4,11	68
		Група В	4,11...5,10	21
		Група С	5,10...6,09	11
СТЗПС	990×2000	Група А	3,63...5,57	44
		Група В	5,57...6,50	34
		Група С	3,70...4,63	22
СТЗПС	1000×2000	Група А	4,22...5,16	55
		Група В	5,16...6,11	32
		Група С	3,27...4,22	13
СТЗПС	1250×2500	Група А	5,69...7,51	60
		Група В	3,86...5,69	29
		Група С	2,04...3,86	11
Середнє значення частоти звернень		Група А		62
		Група В		28,5
		Група С		9,5

Для металопрокату в пачках також спостерігається співвідношення частоти звернень, як і для прокату в рулонах – 60/30/10.

З оглядом на проведений аналіз для скорочення терміну навантаження транспортних засобів пропонується поділ складу готової продукції прокатного цеху на зони в залежності від значення коефіцієнту частоти звернень для певного виду металопрокату.

Складування вантажу у послідовно розташованих від вантажного фронту зонах А, В та С із співвідношенням їх площини до загальної площі ділянки відвантаження 60%, 30% та 10% відповідно (рис. 2.18) дозволяє не тільки скоротити термін простою транспортних засобів під навантаженням, але й оптимізувати процес формування вантажних відправлень.

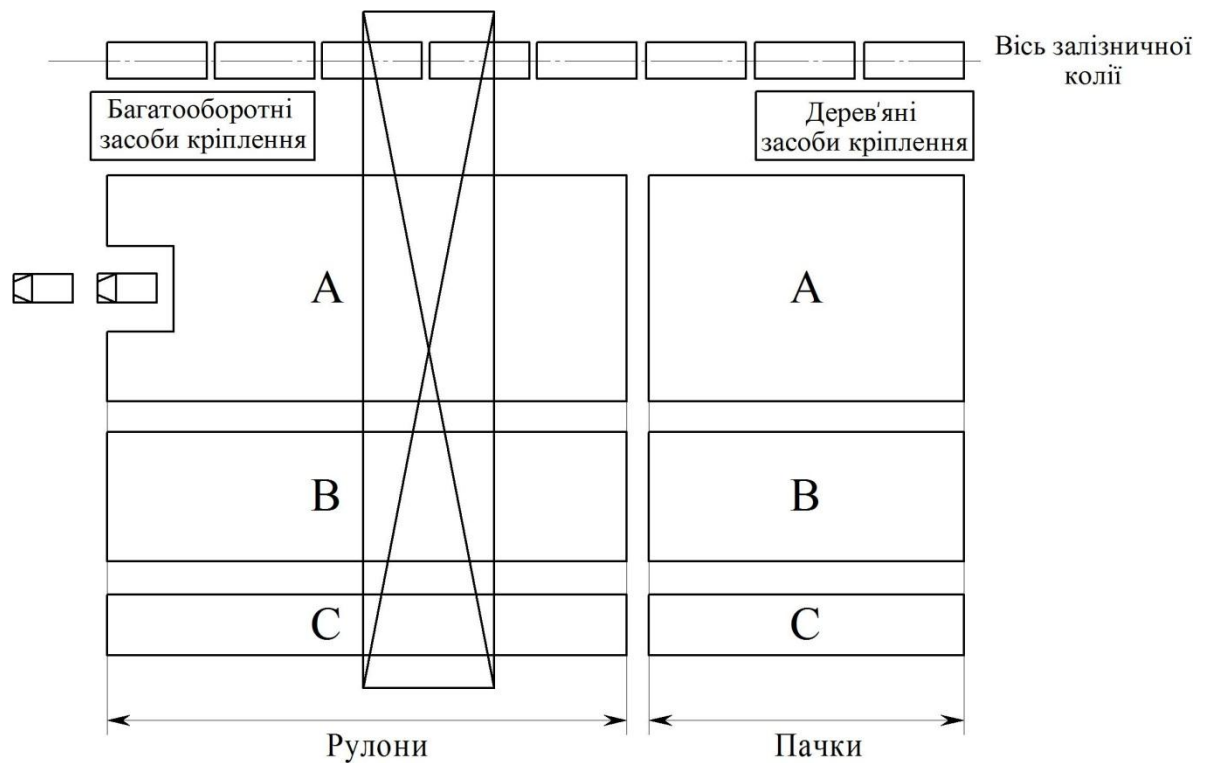


Рисунок 2.18 – Приклад використання методики виділення зон ділянки відвантаження

Похибка при використанні запропонованої на основі методу Парето методики (з огляду на середні значення частоти звернень у вибірці – табл. 2.16, 2.18) не перевищує 5%, що обґрунтовує можливість її використання на практиці.

## 2.7 Висновки по розділу 2

В даному розділі виконані дослідження впливу процесів формування вантажних відправлень на ефективність МЛС ВГП металургійних підприємств, результатами яких є наступні положення:

1. Формалізовано МЛС ВГП в ланці логістичного ланцюга «прокатне виробництво – магістральний транспорт» металургійного підприємства. Встановлені групи факторів, що впливають на функціонування даної мікрологістичної системи: «технологія виробництва», «складська переробка»,

«вимоги до навантаження». Критерієм ефективності функціонування МЛС ВГП визначено економічний – мінімум загальних логістичних витрат.

2. Отримана цільова функція, яка дозволяє поєднати локальні оптимізаційні методи та сформувавши методологію, яка забезпечить підвищення ефективності МЛС ВГП. Складовими цієї функції є вартість доставки продукції споживачу, що в сталих умовах обумовлюється коефіцієнтом використання вантажопідйомності; вартість використання засобів кріплення (залежить від кількості використання у якості кріплень багатооборотних металевих піддонів); вартість плати за користування транспортними засобами, яка при незмінній кількості навантажувально-розвантажувальних машин та іншого обладнання визначається технологією роботи складу.

3. Визначені основні параметри системи МЛС ВГП: коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортних засобів, кількість відправлень з використанням багатооборотних засобів кріплення вантажу, тривалість відвантаження продукції у транспортні засоби зі складу. За рахунок вибору цих параметрів досягається оптимізація цільової функції та підвищення ефективності функціонування МЛС ВГП.

4. Для визначення змінних, які характеризують використання вантажопідйомності транспортних засобів при відвантаженні продукції металургійного підприємства використано факторний аналіз, а саме – метод головних компонент. Отримані моделі, одну з яких характеризують параметри вантажу (вид металопродукції, стандартне відхилення ваги вантажних місць, коефіцієнт використання вантажопідйомності, схеми завантаження за технічними умовами, загальна вага вантажу), а другу – параметри транспортного засобу (вантажопідйомність, кількість розміщених вантажних місць та власна вага).

5. Виконані дослідження показали, що основними причинами неповного використання вантажопідйомності рухомого складу є такі:

- значна частка типових схем навантаження металопродукату на залізничний транспорт були ще за минулих часів розроблено для вагонів



вантажопідйомністю 64-65 т, коли у загальному вагонообороті переважає частка вагонів з вантажопідйомністю 69-71 т. Для залізничного рухомого складу більшої вантажопідйомності за вимогами нормативних документів зменшується припустима нерівномірність навантаження вагону відносно осьових ліній. При вирішенні задачі оптимального розміщення у рухомому складі вантажних місць різної маси більшість методів досліджень виявляються не пристосованими;

- типорозміри виливниць, які використовуються металургійними підприємствами для виготовлення одинці продукції, не узгоджуються з параметрами транспортних засобів;

- на цей час значний обсяг відвантаження металопрокату у рулонах здійснюється із застосуванням БОЗК – металевих піддонів масою до 5 тонн, що суттєво зменшує масу вантажу у вагоні;

- періодично виникають ситуації, коли на складі готової продукції відсутній металопрокат необхідної марки сталі, розмірів і ваги згідно замовлення споживача;

- через можливі технологічні дефекти, пов'язані з етапами плавки та переділу, неможливо прогнозувати кінцеву вагу рулону сталі;

- споживачі при оформленні заказу на поставку металопрокату дуже часто висувують індивідуальні вимоги до ваги рулонів;

- поширене в останні роки застосування багатооборотних засобів кріплення – металевих піддонів масою до 5 тонн – суттєво зменшує можливу масу вантажу у вагоні;

- використання вагонів операторських компаній сприяє зменшенню коливань вантажопідйомності вагонів в составах. Це обумовлює потребу у спрощенні методів підбору вантажних місць для раціонального завантаження вагонів в конкретних умовах певних металургійних підприємств.

6. Виконано дослідження використання БОЗК на металургійних підприємствах. Для оптимізації їх кількості (робочого парку) обґрунтовано

доцільність використання стохастичних дискретно-подійних імітаційних моделей.

7. Розроблено методику (на основі методу Парето) складування вантажу у послідовно розташованих від вантажного фронту зонах А, В та С. На основі виконаних досліджень обґрунтовано співвідношення площ цих зон до загальної площі ділянки відвантаження 60%, 30% та 10% відповідно, чим забезпечується скорочення терміну навантаження транспортних засобів. Визначена похибка при використанні запропонованої методики не перевищує 5%, що надає можливість її практичного застосування.

## РОЗДІЛ 3

### УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ ТА ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКОЇ СИСТЕМИ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

#### 3.1 Розробка методу організації перевезень вузькономенклатурної багатопартійної металопродукції

На сьогоднішній день на багатьох металургійних комбінатах України широко використовується два способи відвантаження готової продукції: багатооборотні засоби кріплення (металеві піддони) та дерев'яні кріплення.

Для відправки за напрямками зі стабільними вантажопотоками використовуються металеві піддони, які обертаються, а за їх відсутності – готова продукція відправляється за допомогою розкріплення на дереві.

Згідно досліджень, виконаних у розділі 2, для визначення необхідної кількості технічних засобів для здійснення перевезення заданого обсягу продукції металургійних підприємств в зазначених умовах доцільно використання імітаційного моделювання, яке достатньо широко застосовується для моделювання транспортних процесів і систем [131-135].

Таким чином, метод організації перевезень вузькономенклатурної багатопартійної металопродукції полягає у наступному.

Виконується дослідження інтенсивності відправлення продукції, визначається закон розподілу цієї величини. Розраховуються параметри, що характеризують тривалість транспортно-технологічних процесів при доставці продукції. Шляхом імітаційного моделювання за різними значеннями параметру управління – кількості багатооборотних засобів кріплення (БОЗК) – визначаються техніко-економічні показники. На основі їх аналізу обираються оптимальні параметри функціонування. Схема проведення експериментів показана на рис. 3.1.

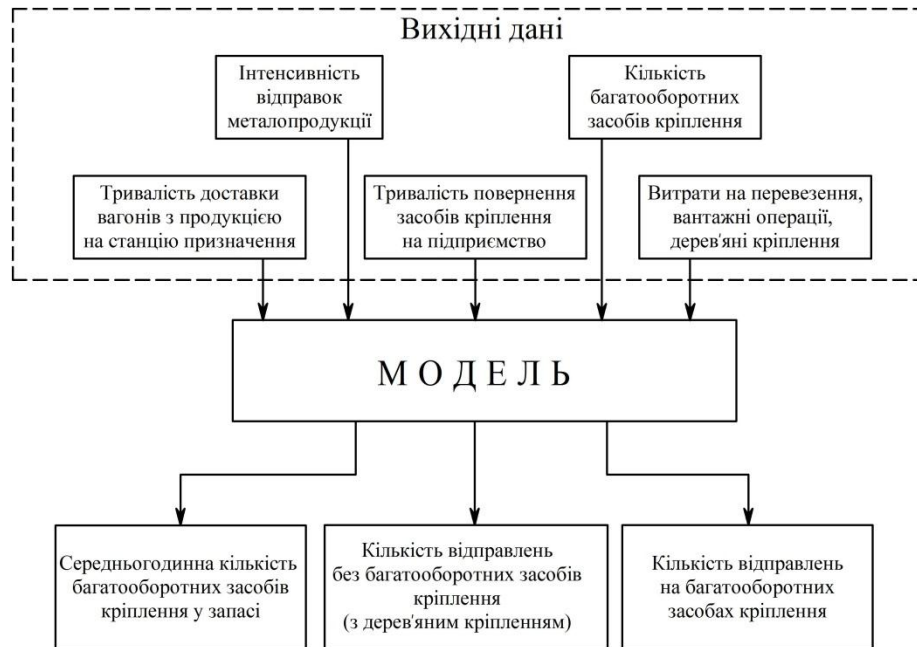


Рисунок 3.1 – Схема проведення експерименту

Розглянемо процес доставки вантажів на прикладі ЦХП № 1 металургійного комбінату «Запоріжсталь». У якості вихідних даних використовувались наступні:

- спостереження відправлень продукції на багатооборотних засобах кріплення піддонах у залізничних вагонах;
- спостереження відправлень партій БОЗК під чергове навантаження;
- тривалість доставки вагонів з продукцією на станцію призначення;
- тривалість доставки багатооборотних засобів кріплення;
- вартість тарифів на перевезення, навантажувально-розвантажувальних та транспортно-складських робіт, технічного обслуговування та ремонту БОЗК, амортизаційні відрахування на багатооборотні засоби кріплення та вартість дерев'яних кріплень.

Програмне середовище, в якому проводиться імітаційне моделювання, дозволяє провести велику кількість експериментів при зміні значень вихідних параметрів досліджуваної транспортної системи за певним алгоритмом (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Алгоритм проведення експерименту

З огляду розгляду інтенсивності відправлення холоднокатаних рулонів на багатооборотних засобах кріплення були виділені напрямки зі стабільними вантажопотоками (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Обсяги перевезення металопрокату на багатооборотних засобах кріплення на певних напрямках

Напрямок перевезень	Станція призначення	Номер схеми навантаження	Обсяг відправлення продукції, вагонів/місяць	Повернення вагонів з БОЗК, вагонів/місяць
1	Кам'янець-Подільській	15.15	18	15
		15.31	54	
2	Миколаїв Вантажний	15.15	161	57
		15.31	27	
3	Берегова	15.15	23	11
		15.31	42	
4	Херсон Порт	15.15	112	24
		15.31	29	
5	Одеса Порт	15.15	39	7
		15.31	25	
6	Маріуполь Порт	15.15	15	2

За кожним напрямком перевезень виконано статистичний аналіз випадкової величини інтенсивності відправлень металопродукції на багатооборотних засобах кріплення. Вибірки даних були розділені на інтервали та підрахований відсоток спостережень, які потрапили до кожного з них. Для визначення числа груп, на які поділено сукупність даних, використовувалась формула Стерджесса [136].

На рис. 3.3 представлена гістограма розподілу випадкової величини інтенсивності відправлень продукції до станції Херсон Порт (стовпчикова діаграма – емпіричні дані, лінією показаний теоретичний розподіл).

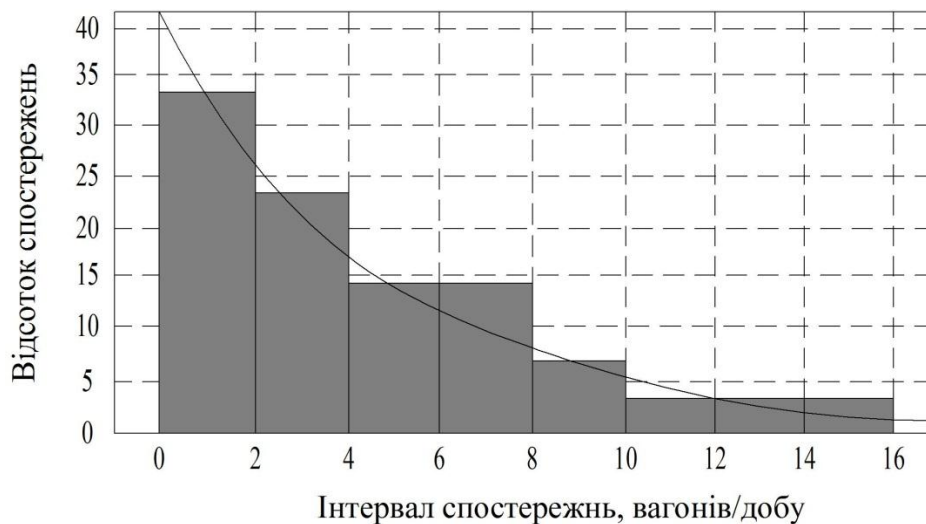


Рисунок 3.3 – Аналіз інтенсивності відправлення металопродукції на багатооборотних засобах кріплення до станції Херсон Порт

За графоаналітичним аналізом та за критеріями згоди Пірсона та Колмогорова-Смирнова, емпіричні дані найбільшою мірою підпорядковуються експоненціальному теоретичному закону розподілу випадкової величини.

Аналіз по інших напрямках також довів можливість моделювання інтенсивності вагонопотоків за експоненціальним розподілом (Додаток А).

У табл. 3.2 наведені середні значення тривалості руху транспортних засобів на маршрутах перевезень, які розглядаються.

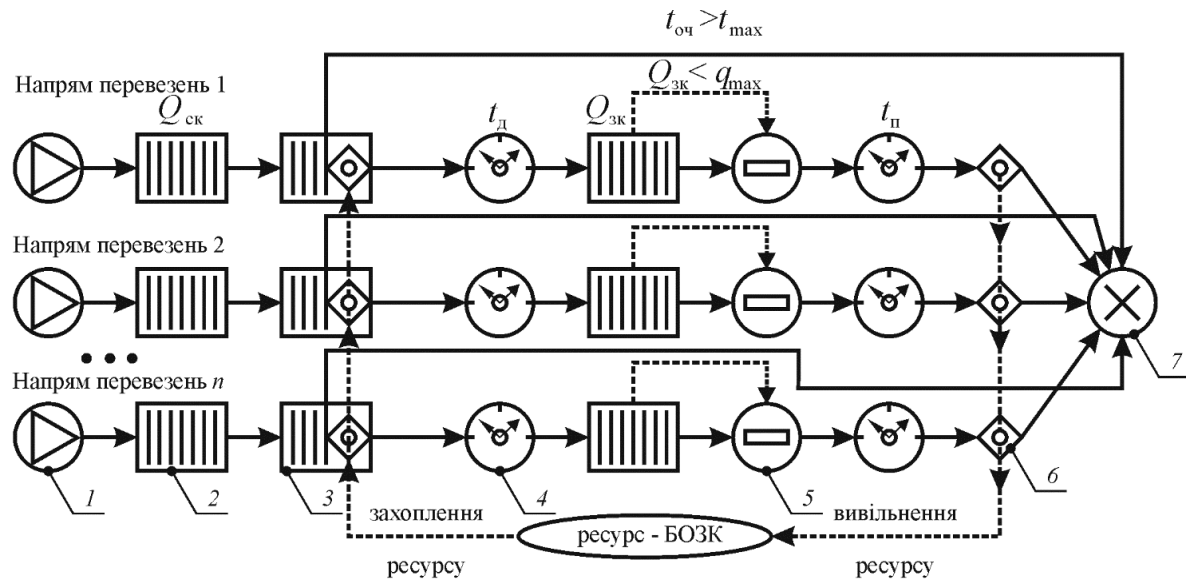
Таблиця 3.2 – Середня тривалість доставки вантажів між станцію Запоріжжя-Ліве та станціями призначення маршрутів перевезень

Станція призначення	Тривалість руху, год.
Кам'янець-Подільській	64
Миколаїв Вантажний	67
Берегова	56
Херсон Порт	53
Одеса Порт	58
Маріуполь Порт	79

При запланованій (прогнозованій) зміні інтенсивності відповідно змінюються параметри обраних законів. Параметр кількості багатооборотних засобів кріплення (робочий парк) змінюється покроково в діапазоні від 70% до 100% показника забезпечення ними відправлень продукції. За початкове значення може бути прийнята фактична кількість БОЗК або величина, розрахована традиційним аналітичним методом.

Типова схема імітаційної моделі показана на рис. 3.4. Вона може бути реалізована в програмному середовищі Anylogic, або аналогічних програмах.

В представленій моделі у якості замовлення виступають відвантажувальні партії вантажу. Генерація замовлень може здійснюватися за відповідним вихідним статистичним даним теоретичним розподілом випадкової величини. Утворені генератором 1 замовлення потрапляють у чергу 2, яка імітує знаходження партії вантажу на складі. При наявності вільних ресурсів (багатооборотних піддонів), вони захоплюються заявкою, що здійснює пристрій приєднання ресурсів 3, та рухаються до пристрою обслуговування 4, який шляхом затримки імітує процес доставки вантажу до станції призначення.



Умовні позначення:

1 – генератор замовлень; 2 – черга обслуговування; 3 – пристрій приєднання ресурсів; 4 – пристрій обслуговування; 5 – блокатор замовлень; 6 – пристрій вивільнення ресурсів; 7 – знищувач замовлень

Рисунок 3.4 – Схема типової імітаційної моделі виконання процесів доставки вузькономенклатурної багатопартійної металопродукції

При відсутності ресурсів протягом часу  $t_{оч}$  вважається, що відправлення вантажу було здійснене з використанням традиційних засобів кріплення; такі замовлення виходять з черги 3 за тайм-аутом та знищуються (елемент 7), фіксується їх кількість.

Заявки, які рухаються разом з ресурсами, після затримки на час доставки вантажу до складу станції  $t_d$ , потрапляють до черги, де очікують накопичення до кількості, яка відповідає вагонній нормі навантаження металевих піддонів. До цього моменту часу рух заявок блокується блокатором 5.

Після розблокування партія заявок затримується на час  $t_p$ , потрібний для повернення транспортного засобу з багатооборотними засобами кріплення під чергове навантаження. Ресурси вивільняються (БОЗК потрапляють на склад в очікуванні навантаження), замовлення знищуються, інформація щодо їх кількості фіксується.



Типова модель (рис. 3.4) не враховує можливості відправлення БОЗК в меншій кількості від нормативної при оперативному управлінні процесом доставки в реальних умовах. Тому для реалізації цієї можливості схему моделі змінюємо (рис. 3.5). В даній моделі замовлення, які не змогли захопити ресурси через їх відсутність, не знищуються, а рухаються разом з іншими за загальним процесом обробки. Внаслідок цього, відправлення без ресурсів БОЗК враховуються у розмір партії, яка накопичується. Фактично це означає, що чим більше вагонів без БОЗК надходить до пункту призначення вантажу, тим менше буде обсяг партії БОЗК, що повертаються під чергове навантаження, прискорюючи цей процес. За рахунок цього в моделі враховується оперативне управління процесом перевезень в реальних умовах роботи.

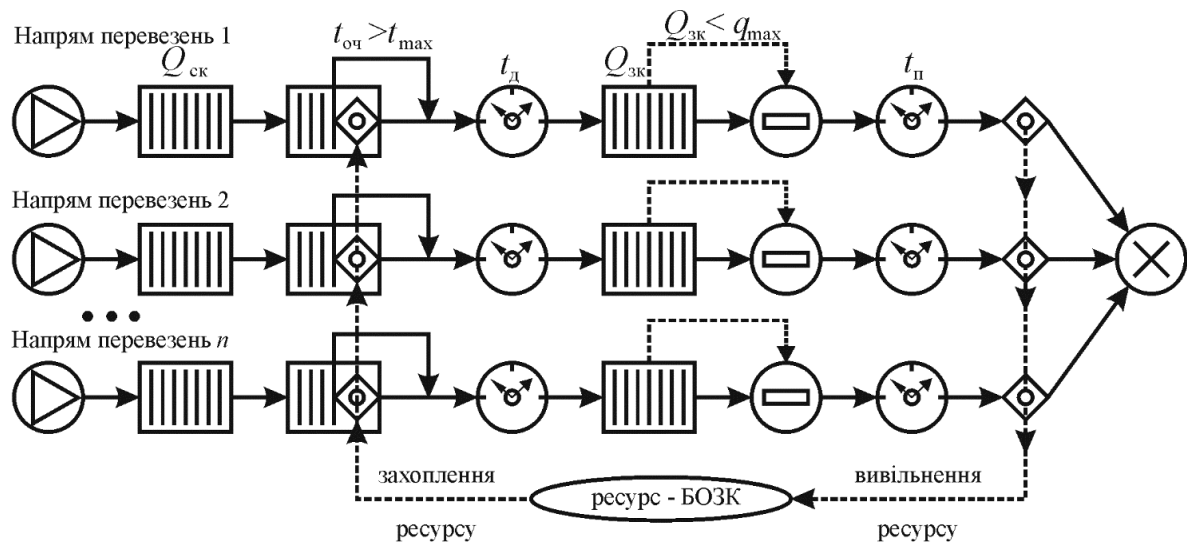


Рисунок 3.5 – Схема імітаційної моделі виконання процесів доставки вужкономенклатурної багатопартійної металопродукції з корегуванням розмірів партій БОЗК, які повертаються під чергове навантаження

Оптимізацію кількості БОЗК необхідно виконувати за критерієм мінімуму логістичних витрат на доставку вантажів. Визначення цих витрат здійснюється шляхом аналітичних розрахунків вартісних показників, виходячи з отриманих за допомогою імітаційної моделі технічних параметрів

функціонування транспортної системи. На відміну від існуючих, запропонований метод враховує можливість відправлення вантажів без використання БОЗК та повернення їх зменшеною партією.

Відвантаження готової продукції впродовж року має певну циклічність та доля відвантажень на багатооборотні засоби кріплення або на дерев'яні кріплення відповідно залежить від швидкості оборотів піддону та від їх наявної кількості. Для визначення оптимальної кількості спершу визначимо імовірність знаходження БОЗК у роботі в залежності від їхньої загальної кількості.

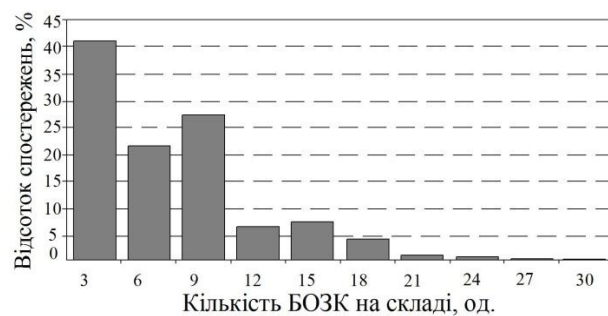
Спостереження за ходом виконання експериментів здійснюються за гістограмами, представленими на рис. 3.6, де показана наявність БОЗК на складі в залежності від їхнього загального парку: а – 160 од. БОЗК; б – 180 од. БОЗК; в – 200 од. БОЗК; г – 220 од. БОЗК; д – 240 од. БОЗК; е – 260 од. БОЗК; ж – 280 од. БОЗК; з – 300 од. БОЗК.

Шляхом візуального аналізу даних гістограм можна визначати діапазон та крок зміни розміру робочого парку БОЗК. Так, при проведенні експерименту на прикладі комбінату «Запоріжсталь», при парку 160 одиниць БОЗК їх кількість на складі критично мала (55% спостережень знаходяться у діапазоні від 0 до 3 одиниць), а при розмірі парку 300 одиниць, БОЗК завжди є на складі (не менше 3 одиниць), та процес відвантаження з їх використанням забезпечується у 100% обсязі.

Для кожної кількості багатооборотних засобів кріплення виконуємо декілька експериментів та розраховуємо середню кількість відправок з використанням БОЗК та з використанням одноразових дерев'яних кріплень протягом року.



а)



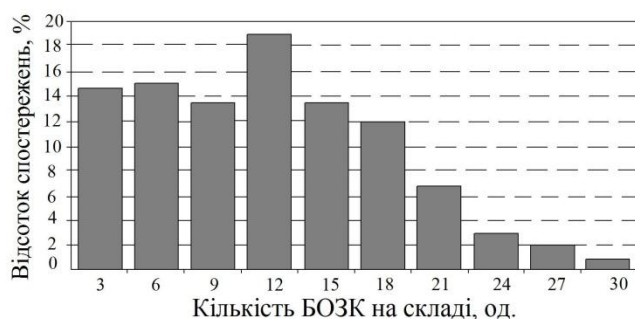
б)



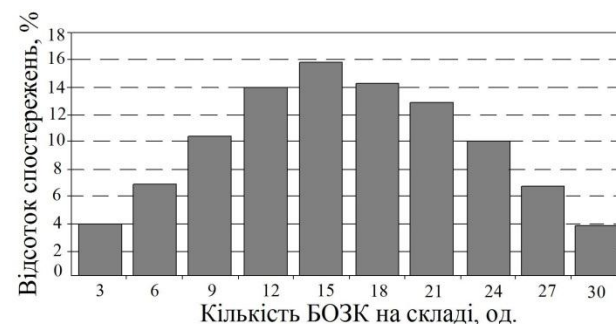
в)



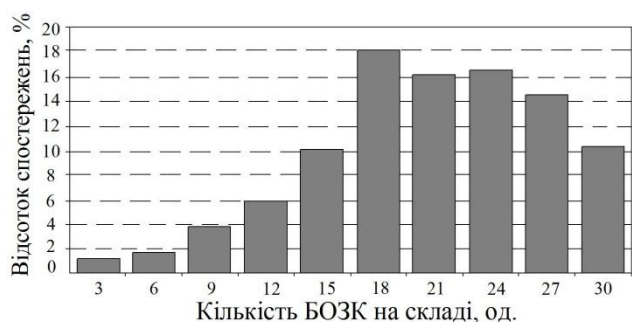
г)



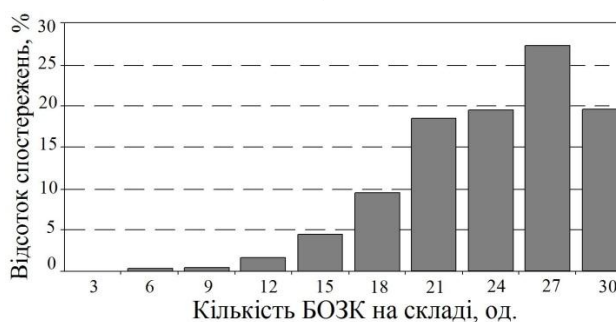
д)



е)



ж)



з)

Рисунок 3.6 – Аналіз наявності багатооборотних засобів кріплення на складі прокатного цеху при змінах розміру їх загального парку

Для визначення залежності робочого парку БОЗК від загальної кількості відправлень були зібрані статистичні дані, представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Кількість відправок в залежності від наявності багатооборотних засобів кріплення

Кількість БОЗК	Кількість відправлень на БОЗК	Кількість відправлень на дереві
160	4820	2186
180	5425	1590
200	5914	1049
220	6320	561
240	6674	206
260	6838	92
280	6996	21
300	7045	0

Результати проведеного експерименту представлені у вигляді графіка зміни кількості відправлень із одноразовими кріпленнями та з БОЗК в залежності від робочого парку останніх (рис. 3.7).

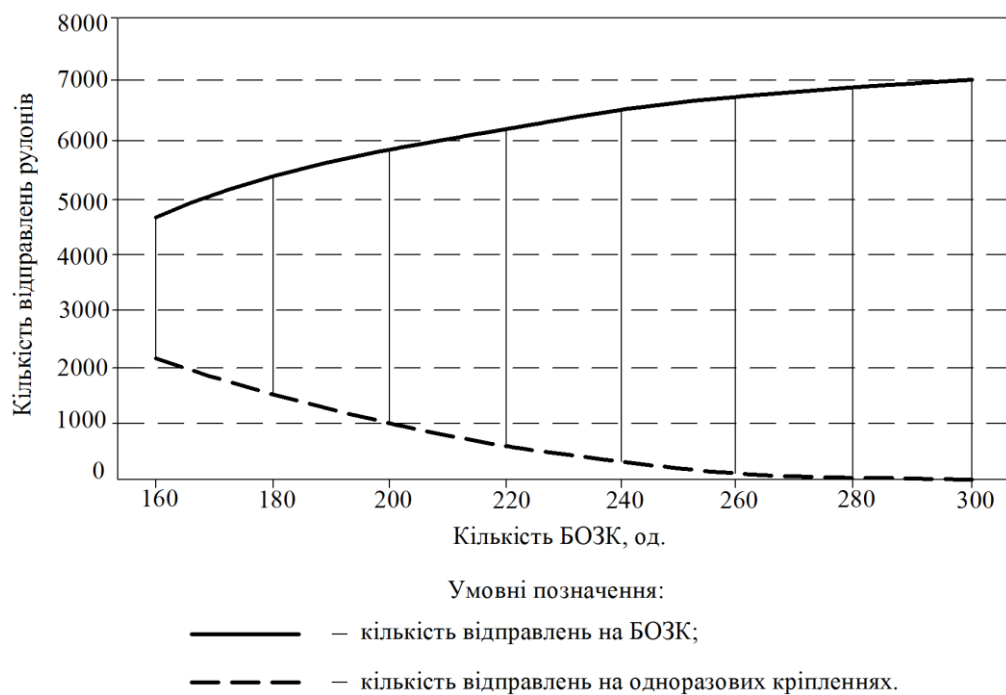


Рисунок 3.7 – Зміна кількості відправлень із одноразовими кріпленнями та з БОЗК в залежності від робочого парку

Для оцінки значимості отриманих результатів із застосуванням розробленого метода та моделі було виконано їх порівняння з даними аналітичного розрахунку традиційними аналітичними методами.

За аналітичним методом розрахунок парку БОЗК виконується за формулою [120]:

$$N_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n \frac{N_i \cdot t_i \cdot n_{\text{в}}}{T}, \quad (3.1)$$

де  $N_i$  - кількість завантажених транспортних засобів за напрямком  $i$ , од.;

$t_i$  - тривалість обороту БОЗК на напрямку  $i$ , діб;

$n_{\text{в}}$  - кількість БОЗК, потрібних для розміщення вантажу у транспортному засобі, од.;  $n_{\text{в}}$  складає 2 од.;

$T$  - тривалість періоду роботи системи доставки, діб; в розрахунках складає 30 діб.

Результати аналітичного розрахунку наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Результати аналітичного розрахунку парку БОЗК для відвантаження металопрокату

Станція призначення	Обсяг відправлення продукції, ваг./місяць	Середній час обороту БОЗК, діб.	Розрахунковий робочий парк БОЗК, од.
Кам'янець-Подільській	72	8	48
Миколаїв Вантажний	188	7	88
Берегова	60	7	28
Херсон Порт	141	6	56
Одеса Порт	64	7	30
Маріуполь Порт	20	8	10
Загальна кількість			260

За даними аналітичного розрахунку за формулою (3.1) потрібно 260 одиниць БОЗК, а за результатами моделювання визначення оптимального розміру парку багатооборотних засобів кріплення складає 220 одиниць на підставі порівняння залежності річних витрат на доставку металопродукції від парку багатооборотних засобів кріплення, яку представлено на рис. 3.8.

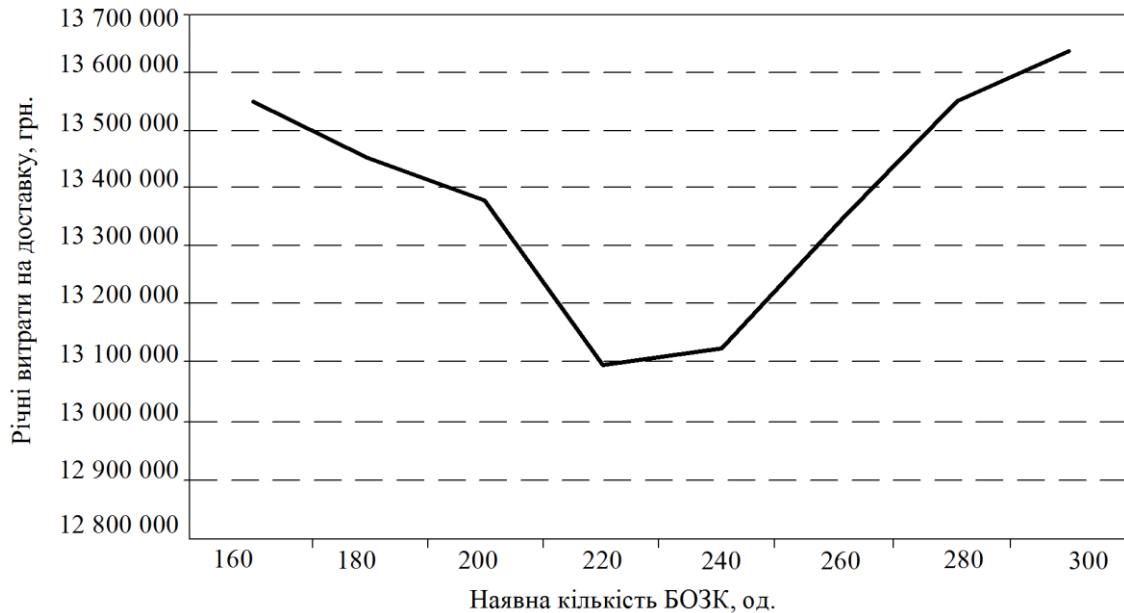


Рисунок 3.8 – Залежність річних витрат на доставку продукції від парку БОЗК

Використання запропонованого методу для визначення оптимальної кількості БОЗК дозволяє отримати певний економічний ефект, а загальні логістичні витрати при цьому зменшуються на 1,7%.

### 3.2 Визначення параметрів вантажопотоку металопродукції

Одна з найважливіших цілей вивчення та аналізу вихідної сукупності полягає в тому, щоб виявити закономірність розподілу і визначити її характер. Закономірності розподілу найбільш виразно проявляються при великій кількості спостережень (закон великих чисел). При побудові статистичного ряду неперервної випадкової величини весь діапазон спостережень розбивають

на інтервали. В кожному розряді підраховують відносні частоти попадання ознаки в заданий інтервал і будують загальну таблицю [136].

Цех холодного прокату ПАТ «Запоріжсталь» виготовляє гарячекатаний і холоднокатаний плоский прокат: товщиною від 0,5 до 2,0 мм, шириною від 850 до 1500 мм, масою до 16 т – в рулонах, геометричні розміри якого представлені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Геометричні розміри рулонного металопрокату

Вид прокату	Товщина × Ширина, мм
Гарячекатаний прокат, мм	(1,80...2,50) × (1000...1250)
	(2,60...3,00) × (1000...1400)
	(3,10...3,90) × (1000...1500)
	(4,00...8,00) × (1000...1500)
Холоднокатаний прокат, мм	(0,50...0,65) × 1000
	(0,65...0,80) × (1000...1250)
	(0,80...1,20) × (1000...1400)
	(1,20...2,00) × (1000...1500)

Встановлення емпіричного закону розподілу досліджуваної величини, – ваги рулонів, проводимо на основі статистичної інформації.

Встановлення відносної частоти досліджуваної величини – маси рулонів, проводимо на основі статистичних даних з відвантаження металопрокату в рулонах гарячекатаних та холоднокатаних. Результати статистичної обробки представлені у вигляді таблиць і гістограм, наведених у табл. 3.8, 3.9 і зображених на рис. 3.6, 3.7.

Таблиця 3.6 – Емпіричний розподіл маси гарячекатаних рулонів

№ інтервалу	Границі інтервалу $x_i - x_{i+1}$ , Т		Частота попадання результатів спостережень в інтервал $m_i$	Відносна частота (частість) $f_i$	Інтегральна функція $F(x)$
1	3,22	4,14	4	0,0007	0,0007
2	4,14	5,06	16	0,0028	0,0035
3	5,06	5,98	192	0,0336	0,0371
4	5,98	6,91	256	0,0448	0,0819
5	6,91	7,83	148	0,0259	0,1078
6	7,83	8,75	0	0,0000	0,1078
7	8,75	9,67	15	0,0026	0,1105
8	9,67	10,59	40	0,0070	0,1175
9	10,59	11,51	502	0,0879	0,2054
10	11,51	12,43	993	0,1739	0,3793
11	12,43	13,36	916	0,1604	0,5397
12	13,36	14,28	2422	0,4242	0,9639
13	14,28	15,20	170	0,0298	0,9936
14	15,20	16,12	36	0,0063	1,0000
Сума			5710	1,0000	1,0000

За результатами табл. 3.6 найбільша частота попадання результатів спостережень присутня в інтервалі (13,36...14,28) т. Гістограма емпіричного розподілу маси гарячекатаних рулонів наведена на рис. 3.7.

Емпіричний розподіл маси холоднокатаних рулонів дано в табл. 3.7.



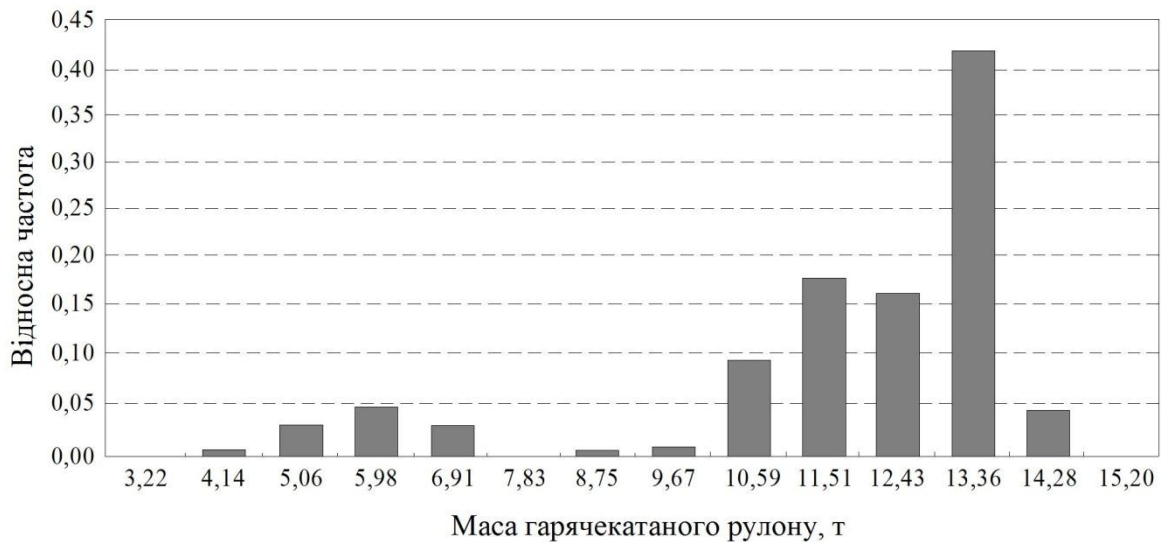


Рисунок 3.9 – Гістограма емпіричного розподілу маси гарячекатаних рулонів

Таблиця 3.7 – Емпіричний розподіл маси холоднокатаних рулонів

№ інтервалу	Границі інтервалу $x_i - x_{i+1}$ , т		Частота попадання результатів спостережень в інтервал $m_i$	Відносна частота (частість) $f_i$	Інтегральна функція $F(x)$
1	1,28	2,25	2	0,0003	0,0003
2	2,25	3,22	11	0,0016	0,0019
3	3,22	4,18	64	0,0096	0,0116
4	4,18	5,15	787	0,1188	0,1304
5	5,15	6,12	2527	0,3816	0,5121
6	6,12	7,09	1188	0,1794	0,6915
7	7,09	8,06	58	0,0087	0,7003
8	8,06	9,02	29	0,0043	0,7047
9	9,02	9,99	82	0,0123	0,7171
10	9,99	10,96	569	0,0859	0,8030
11	10,96	11,93	626	0,0945	0,8975
12	11,93	12,89	334	0,0504	0,9480
13	12,89	13,86	333	0,0502	0,9983
14	13,86	14,83	11	0,0016	1,0000
Сума			6621	1,0000	1,0000

За результатами табл. 3.7 найбільша частота попадання результатів спостережень знаходиться в інтервалі (5,15 т ... 6,12 т). Гістограма емпіричного розподілу маси холоднокатаних рулонів наведена на рис. 3.10.

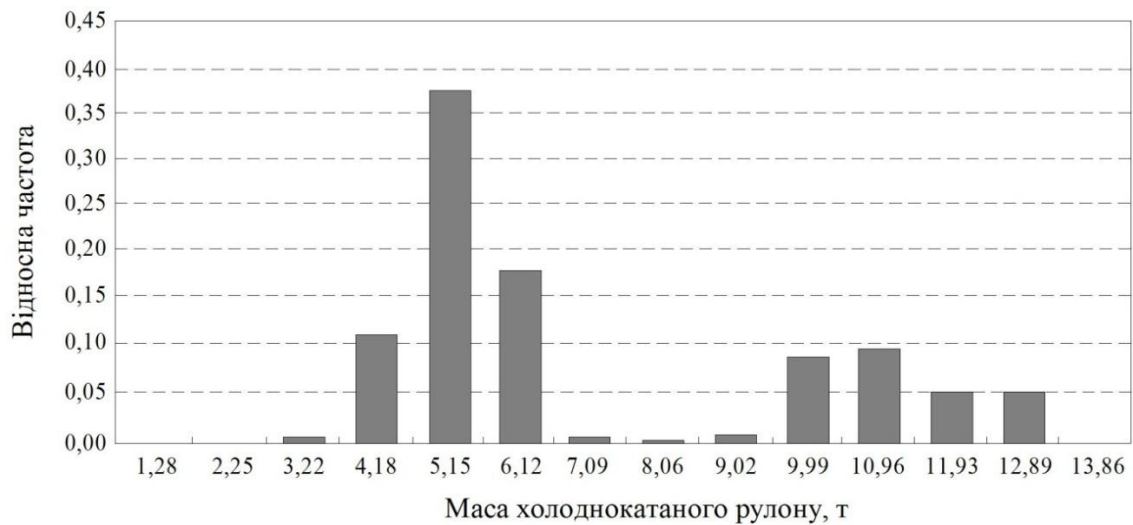


Рисунок 3.10 – Гістограма відносної частоти маси холоднокатаних рулонів

За результатами обробки статистичних спостережень визначена маса холоднокатаних та гарячекатаних рулонів за найбільшою частотою попадання результатів для подальшого моделювання.

### **3.3 Розробка методики оптимального формування вагонних відправлень**

Поліпшення використання вантажопідйомності вагонів призводить до зменшення їхньої потреби за рахунок підвищення середнього завантаження, не перевищуючи вантажопідйомність, та до економії витрат на перевезення.

На цей час транспортно-експедиторські та транспортні компанії застосовують різні програмні продукти, які дозволяють значно прискорити процес завантаження та оптимального розміщення вантажів у транспортному засобі, що поліпшує використання їхньої вантажопідйомності.

Основним недоліком існуючих програмних продуктів з розрахунку оптимального завантаження транспортних засобів є те, що не враховуються всі вимоги до розміщення металопрокату у транспортних засобах, передбачені Технічними вимогами [30,31]. Їх недоцільно використовувати в умовах транспортно-складської системи прокатних цехів, тому що вже існують типові схеми розміщення та закріплення металопродукції в вагонах. Задача полягає у підборі металопродукції такого типорозміру та маси, що не суперечить вимогам [30,31], та забезпечить максимальне використання вантажопідйомності транспортних засобів.

Задачу оптимального використання вантажопідйомності транспортних засобів будемо вирішувати методом лінійного програмування, яку можна записати в такому вигляді:

$$\sum_{k=1}^k (c_k \cdot x_k) \Rightarrow \max (\min),$$

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} k_k \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3.2)$$

$$x_k \geq 0, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

де  $a_i, b_i, c_i$  - задані числа.

Позначимо через  $x_1, x_2, \dots, x_n$  масу рулонів. При цьому цільова функція – мінімум логістичних витрат на 1 т готової продукції (упаковка рулонів, здійснення навантажувально-розвантажувальних операцій, використання лісоматеріалів для закріплення вантажу у вагоні) буде мати вигляд:

$$z = \frac{\sum B_i^{\text{лог}}}{\sum a_i \cdot x_i} = \frac{\sum B^{\text{пак}} + \sum B^{\text{навант}} + \sum B^{\text{ліс}}}{\sum a_i \cdot x_i} \rightarrow \min, \quad (3.3)$$

де  $\Sigma B_i^{\text{лог}}$  - сумарні логістичні витрати, пов'язані з відвантаженням рулонів  $x_i$  маси, грн.;

$a_i$  - кількість рулонів  $x_i$  маси, од.;

$\Sigma B^{\text{пак}}$  - витрати на пакування, грн.;

$\Sigma B^{\text{навант}}$  - витрати, пов'язані з використанням навантажувально-розвантажувальних механізмів, грн; визначаються за формулою:

$$\Sigma B^{\text{навант}} = B^{\text{кр-год}} \cdot t_{\text{ц}}^{\text{1р}} \cdot n_{\text{р}}, \quad (3.4)$$

$B^{\text{кр-год}}$  - вартість 1 крано-години, грн.;

$t_{\text{ц}}^{\text{1р}}$  - середня тривалість циклу завантаження одного рулону;

$n_{\text{р}}$  - загальна кількість рулонів згідно схеми відвантаження, од.;

$\Sigma B^{\text{ліс}}$  - витрати на лісоматеріали для закріплення рулонів у вагоні, грн; визначаються за формулою:

$$\Sigma B^{\text{ліс}} = H_{\text{1ваг}}^{\text{ліс}} \cdot B^{\text{1м}^3}, \quad (3.5)$$

де  $H_{\text{1ваг}}^{\text{ліс}}$  - норма розходу лісоматеріалів на 1 вагон згідно конкретної схеми відвантаження, 1 м<sup>3</sup>;

$B^{\text{1м}^3}$  - вартість 1 м<sup>3</sup> лісоматеріалів, грн.

Основна проблема при завантаженні вагонів - досягнення максимального коефіцієнта використання вантажопідйомності.

В розділі 2.4 було проведено аналіз типових схем завантаження вагонів металопрокатом в рулонах (гарячекатаних і холоднокатаних).

Аналіз показав, що величина недовантаження для різних схем розміщення рулонів в вагоні залежить від вантажопідйомності вагонів, що подаються під навантаження, і кількості рулонів в вагоні. Після обробки даних

методами математичної статистики отримали такі дані: значення недовантаження коливається від 1,99 т до 13,3 т.

При розробці методики розглядалися схеми розміщення на багатооборотних засобах кріплення (металевих піддонах) і на разових, дерев'яних кріпильних, із завантаженням додаткового рулону (не передбаченого типовою схемою).

Складаємо обмеження на вагу нетто вантажу у вагоні, що дорівнює вантажопідйомності вагона за винятком ваги використаних піддонів і необхідних лісоматеріалів для кріплення вантажу (відповідно до схем розміщення та кріплення вантажів):

$$a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n = q_v - z \cdot m_{\text{п}} - m_{\text{ліс}}, \quad (3.6)$$

де  $a_1, a_2, a_n$  - кількість рулонів, які є симетричними відносно повздовжньої вісі вагону;

$q_v$  - вантажопідйомність вагона, т;

$m_{\text{п}}$  - маса піддона, що використовується в схемі відвантаження, т;

$z$  - кількість використаних піддонів, од;

$m_{\text{ліс}}$  - маса лісоматеріалів для закріплення рулонів, т.

При цьому є обмеження на вагу рулонів:

$$b_{\text{max}} \leq x_1, x_2 \dots x_n \leq b_{\text{min}}, \quad (3.7)$$

де  $b_{\text{max}}, b_{\text{min}}$  - відповідно мінімальна і максимальна межа маси рулонів в замовленні, які є в наявності на складі і допускаються до використання в схемах навантаження, т.

ЦХП-1 потрібно провести відвантаження холоднокатаних рулонів в вагон, вантажопідйомністю 70 т, відповідно до схеми 15.31. При цьому перед бригадами відвантаження постають такі умови: максимальне використання вантажопідйомності вагона, згідно замовлення відвантаження проводиться великими рулонами (8 - 14 т). Згідно схеми навантаження, для доставки використовується 2 багатооборотних металевих піддона, масою 1,9 т кожен. Необхідна кількість лісоматеріалів для кріплення рулонів – 0,07 т.

Складаємо математичну модель задачі. Позначимо  $x_1$ ,  $x_2$  – вага симетричних рулонів і  $x_3$  - вага рулону, розташованого на перетині поздовжньої і поперечної осі вагона. Тоді згідно зі схемою буде використано 2 рулони масою  $x_1$ , розташованих біля торців вагона (необхідно дотримуватися умов рівності мас щодо поперечної осі для рівномірності завантаження транспортного засобу). Знадобиться 2 рулони, масою  $x_2$ , і 1 рулон, масою  $x_3$ . Цільова функція буде мати вигляд:

$$z = \frac{1800 \cdot 5 + 200 \cdot 0,2 \cdot 5 + 0,1 \cdot 1200}{2x_1 + 2x_2 + x_3} = \frac{9320}{2x_1 + 2x_2 + x_3} \rightarrow \min.$$

За умови наступних обмежень отримуємо:

$$2x_1 + 2x_2 + 2x_3 = 70 - 2 \cdot 1,9 - 0,07 = 66,13 \text{ т};$$

$$8 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 14; \quad x_1, x_2, x_3 \geq 0.$$

Вибір рулонів від 8 до 14 тонн проводиться на підставі наявності на складі готової продукції рулонів з наближеною до цих значень вагою. Рішення завдання проводиться в MS Excel методом цілеспрямованого перебору опорних рішень задачі лінійного програмування. Він дозволяє за кінцеве число кроків знайти оптимальне рішення, або встановити, що оптимальне рішення відсутнє.

Згідно алгоритму виконується пошук екстремуму цільової функції (мінімум логістичних витрат) при лінійних обмеженнях.

Для оцінки доцільності застосування даного методу в умовах транспортно-складської системи ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» були сформовані 144 вагона різної вантажопідйомності за 6 замовленнями в основних схемах завантаження. Результати процесу знаходження оптимального варіанту завантаження вагонів наведені у табл. 3.8, а послідовність отримання результату – у додатку Б.

Таблиця 3.8 – Результати процесу знаходження оптимального варіанту завантаження вагонів

№ пп	Завантаження на піввагону за типовою схемою, т	Оптимальний варіант завантаження піввагону, т
1	2	3
1	{6,08;11,86;11,46;6,62;12,49;13,16}=61,67	{13,38;13,38;13,35;13,35;5,01;4,47}=62,94
2	{6,15;13,00;11,92;13,38;12,98;6,43}=63,86	{13,33;13,32;13,32;13,3;9,66}= 62,93
3	{12,15;12,46;12,12;11,63;5,01;4,47}=57,84	{13,14 ;13,13;13,13;13,12;10,42}= 62,94
4	{13,06;13,09;13,41;12,96}=52,52	{13,06 ;13,04;13,03;13,02;5,51;5,27}= 62,93
5	{13,00;12,89;13,32;13,09}=52,30	{13,01;13;13;13;10,93}= 62,94
6	{6,64;6,53;6,36;12,82;6,70;13,12}=52,17	{12,94;12,92;12,9;12,9;11,28}= 62,94
7	{13,30 ;13,20;13,21;12,98}=52,69	{12,95;12,89;12,87;12,84;11,39}= 62,94
8	{6,47;6,88;12,20;12,67;11,40;12,84}=62,46	{12,96;12,82;12,82;12,82;11,46}= 62,88
9	{10,93;11,90;6,20;6,19;11,89;12,42}=59,53	{12,97;12,96;12,8;12,77;11,4}= 62,9
10	{6,20;13,49;13,17;13,23;6,23;10,42}=62,74	{12,98;12,8;12,77;12,75;11,63}= 62,93
11	{6,07;11,89;13,13;13,44;13,38;5,51}=63,42	{13,04;12,8;12,77;12,75;5,78;5,73}= 62,87
12	{13,41;12,23;13,01;12,87;5,78;6,14}=63,44	{13,06;12,72;12,67;12,61;11,88}= 62,94
13	{13,06;6,18;13,07;13,04;6,08;12,51}=63,94	{13,07;13,07;12,6;12,6;11,59}= 62,93
14	{13,58;13,14;13,33;13,23}= 53,28	{13,09;12,6;12,57;12,56;12,12}= 62,94
15	{12,95;11,59;6,90;6,78;11,39;13,02}=62,63	{13,1;12,57;12,56;12,53;12,15}= 62,91
16	{6,48;13,41;6,65;12,77;12,10;12,26}=63,67	{13,12 ;13,11;12,51;12,49;11,63}= 62,86
17	{13,13;12,82;6,36;6,32;12,75;12,24}=63,62	{13,16 ;13,16;12,47;12,46;11,62}= 62,87
18	{13,54 ;13,76;13,32;13,34}=53,96	{13,2;13,17;12,42;12,38;11,74}= 62,91
19	{13,35 ;13,48;13,34;13,52}=53,69	{13,21;13,21;12,3;12,27;11,92}= 62,91
20	{13,47 ;13,29;13,54;12,90}=53,20	{13,23;13,23;12,26;12,25;11,9}= 62,87
21	{6,93;6,71;6,37;13,38;6,35;13,10}=52,84	{13,28;13,25;12,24;12,23;11,9}= 62,9
22	{12,53;6,19;12,61;12,56;13,02;5,73}=62,64	{13,33;13,29;12,2;12,19;11,89}= 62,9
23	{6,75;6,32;13,12;11,74;12,60;12,92}=63,45	{13,34;13,34;12,19;12,1;11,86}= 62,83
24	{6,21;12,19;6,50;12,60;12,38;12,77}=62,65	{6,07;6,37;6,36;6,36;6,35;6,32;6,32;6,32;6,2;5,86}= 62,62

Продовження таблиці 3.8

1	2	3
25	{13,25;13,16;13,28;12,97}=52,66	{6,47;6,46;6,43;6,42;6,23;6,23;6,21;6,2;6,2;6,08}= 62,93
26	{5,27;6,47;12,98;12,47;12,94;11,88}=62,01	{6,5;6,48;6,47;6,46;6,19;6,19;6,18;6,15;6,14;6,14}= 62,9
27	{12,72;12,82;13,21;6,14;6,20;9,66}=60,75	{13,76 ;13,58;13,44;13,54;6,9}= 61,22
28	{6,46;6,29;12,90;12,82;12,80;12,75}=64,02	{13,52;13,49;13,48;13,47;6,93}= 60,89
29	{12,27;6,32;6,23;12,97;12,30;11,28}=61,37	{6,88;6,78;6,75;6,75;6,71;6,7;6,65;6,64;6,62}= 60,48
30	{6,42;13,00;13,03;6,50;12,57;12,98}=64,50	{13,38;13,35;11,62;6,55;6,53;12,04}=64,46
31	{13,11 ;13,33;13,23;13,16}= 52,83	
32	{13,35;6,55;13,09;5,86;11,62;12,25}=62,72	
Загальний обсяг відвантаження, т		
	1895,06	1895,06
Середнє значення завантаження піввагону, т		
	59,22	62,75
Кількість використаних піввагонів, од		
	32	30

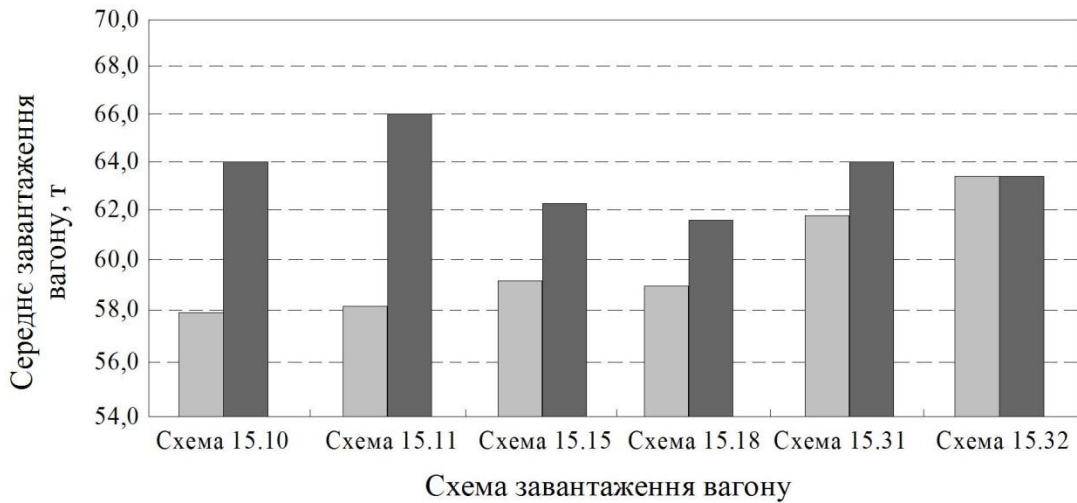
Даний варіант завантаження розрахований для комбінованого способу завантаження як рулонами подвійної, так й одинарної маси. Показники завантаження піввагонів металопрокатом за типовими схемами та за схемами із застосуванням методу оптимізації наведені в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Показники завантаження піввагонів металопрокатом

Номер схеми	Середнє завантаження піввагонів, т		Коефіцієнт використання вантажопідйомності вагону	
	Типова схема	Оптимізація	Типова схема	Оптимізація
15.10	58,19	64,38	0,83	0,92
15.11	58,61	66,38	0,84	0,95
15.15	59,44	62,68	0,85	0,90
15.18	59,10	61,89	0,84	0,88
15.31	62,14	64,43	0,89	0,92
15.32	63,70	63,71	0,91	0,91
Середнє значення	60,20	63,91	0,86	0,91



Динаміка середнього значення завантаження вагонів за різними схемами наведена на рис. 3.11.



Умовні позначення:

- завантаження вагону за типовою схемою;
- завантаження вагону за типовою схемою із додатковим рулоном.

Рисунок 3.11 – Величина середнього завантаження вагонів

Запропонований метод розв'язання задачі удосконалення логістики доставки металопродукції оптимальним формуванням вагонних відправлень реалізується шляхом перебору значень параметрів вантажних місць (маси рулонів). Згідно алгоритму виконується пошук екстремуму цільової функції (мінімум логістичних витрат) при лінійних обмеженнях.

Розроблений метод оптимального формування вагонних відправлень при завантаженні металопрокату у вагони дозволяє збільшити кількість вантажу у вагоні в середньому на 3,71 тони та підвищити коефіцієнт використання вантажопідйомності з 0,86 до 0,91 (табл. 3.9). При цьому для перевезення однакового обсягу вантажу зменшується потрібна кількість вагонів та сума витрат на перевезення.

### 3.4 Висновки по розділу 3

В даному розділі удосконалено методи організації та планування роботи транспортно-складської системи промислового підприємства. Розроблено новий метод визначення оптимальної кількості БОЗК при організації процесу доставки металопродукції та розроблено метод оптимального формування вагонних відправлень, який реалізується шляхом перебору значень параметрів вантажних місць.

1. Розроблено імітаційну модель доставки вантажів з використанням БОЗК, яка враховує коливання інтенсивності відправлень, можливість використання традиційних одноразових засобів кріплення та можливість повернення БОЗК у меншій, ніж максимальний обсяг, кількості.

2. Розроблено метод визначення оптимальної кількості БОЗК, який ґрунтується на логістичному підході, методах статистичного аналізу та імітаційного моделювання (на розробленій моделі). На відміну від існуючих методів, враховується можливість використання як багатооборотних, так і одноразових засобів кріплення. В якості критерію оптимальності запропоновано використовувати загальні логістичні витрати, а не лише технічні показники ефективності.

3. Виконані експериментальні дослідження дозволили отримати залежність логістичних витрат від розміру робочого парку БОЗК. При імітації процесів відправлення вантажів діапазон робочого парку БОЗК знаходився у межах від 70% до 100% забезпечення ними всіх відправлень. За результатами моделювання визначення оптимального розміру парку багатооборотних засобів кріплення складає 220 одиниць на підставі порівняння залежності річних витрат на доставку металопродукції від парку багатооборотних засобів кріплення.

4. Практичне значення отриманих результатів полягає в зменшенні витрат на доставку вантажів. На прикладі перевезень продукції цеху холодного прокату № 1 металургійного комбінату ПАТ «Запоріжсталь» загальні

логістичні витрати зменшуються на 1,7%. Запропонований метод може бути використаний на підприємствах, які використовують БОЗК при організації доставки вантажів.

5. Розроблений метод оптимального формування вагонних відправлень, який реалізується шляхом перебору значень параметрів вантажних місць (маси рулонів). Даний метод дозволяє зменшити потрібну кількість рухомого складу для перевезень, вартість витрат на доставку та розмір плати за користування вагонами. Рішення завдання проводиться методом цілеспрямованого перебору опорних рішень задачі лінійного програмування. Він дозволяє за кінцеве число кроків знайти оптимальне рішення, або встановити, що оптимальне рішення відсутнє. Згідно алгоритму виконується пошук екстремуму цільової функції (мінімум логістичних витрат) при лінійних обмеженнях.

Використання на практиці розробленого методу дозволяє збільшити кількість вантажу у вагоні в середньому на 3,71 тони та підвищити коефіцієнт використання вантажопідйомності з 0,86 до 0,91. При цьому для перевезення однакового обсягу вантажу зменшується потрібна кількість вагонів та сума витрат на перевезення. Апробація даного методу виконана в умовах транспортно-складської системи ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь».

## РОЗДІЛ 4

### ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДОЛОГІЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ФОРМУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВІДПРАВЛЕНЬ

#### 4.1 Реалізація методології організації формування вантажних відправлень в контексті технологічного процесу роботи пункту навантаження

Сучасні форми взаємодії виробництва і транспорту потребують удосконалення системи прийняття управлінських рішень [56,138,139]. Ураховуючи необхідність вдосконалення транспортно-складських процесів навантаження металопродукції мостовими кранами потрібно провести аналіз фактичних зон роботи кранів шляхом розробки імітаційних моделей їх функціонування та встановлення найбільш ефективної технології навантаження.

Реальним об'єктом, на базі якого виконуються дослідження, є дільниця відвантаження цеху холодного прокату ПАТ «Запоріжсталь», яка працює цілодобово та обслуговується мостовими кранами.

Характерними рисами роботи пунктів навантаження металопродукції є значна площа території, де зберігається вантаж, та використання великої кількості мостових кранів.

Так, в цеху холодного прокату №1 (ЦХП-1) металургійного комбінату «Запоріжсталь» площа, зайнята під зберігання металопродукції, складає більш 10000 м<sup>2</sup>. Для обслуговування складів готової продукції задіяні більш 20 мостових кранів, а довжина пролетів складає від 90 до 250 м. За таких умов постає питання раціонального використання кранів, зокрема, за рахунок визначення зон їх відокремленої та спільної роботи.

Визначення факторів, які впливають на процес внутрішньоцехових перевезень, зокрема, у прокатному виробництві [57], є початковою ланкою в

загальному ланцюзі досліджень у цій сфері. Після такого визначення можливе встановлення шляхів підвищення ефективності переміщення металопрокату зокрема за рахунок прийняття диспетчерським персоналом обґрунтованих рішень [140].

Окрім оптимізаційних задач транспорту, необхідно забезпечити безперервність виробничих процесів, раціональне використання складських площ за рахунок зменшення запасів вантажів [60,141].

Таким чином, задачі ефективної організації взаємодії прокатних цехів і транспорту [115,142], зокрема за рахунок раціонального використання мостових кранів, є актуальними та потребують подальших досліджень.

На рис. 4.1 схематично показано один з вантажних фронтів відвантаження готової продукції ЦХП-1, взятий для дослідження.

Вагони на вантажний фронт подаються по 21 одиниці у кожній подачі.

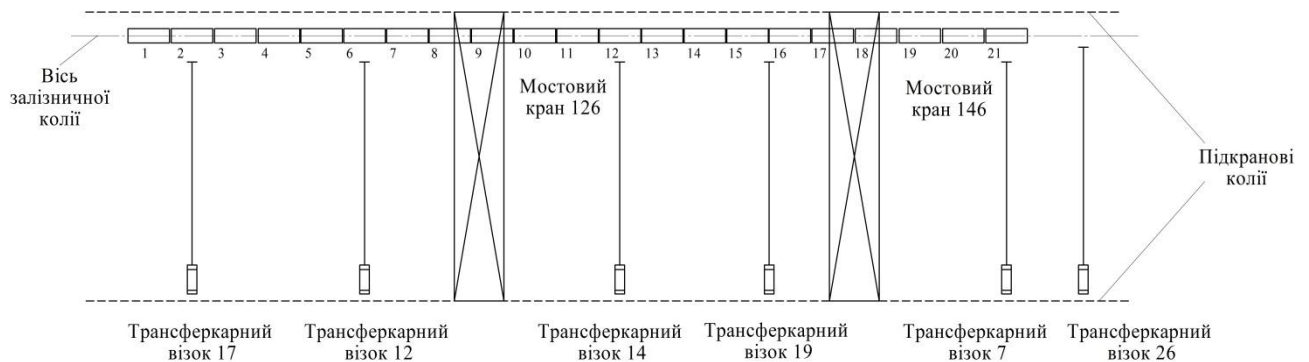


Рисунок 4.1 – Схема фронту відвантаження металопрокату прокатного цеху

Вантажний фронт можна розглядати як систему масового обслуговування, а транспортні засоби – це вхідні потоки вимог [143,144]. В цій системі апаратами обслуговування є технічні засоби виконання вантажних робіт. Навантаження виконується одночасно з групою вагонів: мостові крани обслуговують вхідні та вихідні потоки.

Рулони або пачки металопрокату з ділянки пакування передаються між прольотами мостових кранів трансферкарними візками. Після подачі на фронт

відвантаження металопрокату або укладається в зоні видачі складу готової продукції або мостовим краном одразу завантажуються у вагони. Це залежить від даних формувальних карт, які складаються на кожен вагон.

Процес завантаження металопрокатом на лінійному фронті було досліджено за умови використання двох мостових кранів. Навантаження виконується одразу в декілька вагонів в різних точках колії навантаження.

За наявною технологією роботи чітко не визначені зони роботи кранів. Один мостовий кран може завантажувати вагони, які знаходяться в різних зонах навантажувальної колії. Оскільки крани, які виконують вантажні операції, знаходяться на одній підкрановій колії, виникають ситуації, коли зона обслуговування вагонів співпадає. У такі моменти крани можуть заважати один одному.

Таким чином, об'єкт дослідження – це лінійний фронт навантаження місткістю 21 вагон, який обслуговується двома мостовими кранами, розташованими на одній крановій колії.

Ураховуючи значну кількість параметрів роботи складів металопрокату та стохастичний характер надходження продукції, що відвантажуються, доцільним є використання методу імітаційного моделювання.

Імітаційна модель дозволяє автоматично визначити значення параметрів розглянутої системи, міняючи при цьому умови протікання процесу й випадкові події, облік яких при традиційних підходах викликає істотні утруднення.

Аналіз функціонування вантажних фронтів показує, що при збільшенні його переробної спроможності збільшується кількість навантажувально-розвантажувальних машин, що приводить до значних капітальних витрат та збільшення експлуатаційних витрат на їх обслуговування. Однак, у разі збільшенні потужності технічного оснащення вантажного фронту зменшується простій вагонів в процесі виконання вантажних операцій, а також і обумовлені з ним витрати.

Відповідно до технології роботи дільниці відвантаження ЦХП-1 [145], металопрокат у пачках та рулонах завантажується в залізничні вагони мостовими кранами із зони зберігання.

Під час дослідження транспортно-складських процесів дослідним шляхом були отримані дані щодо відвантаження готової продукції із зони зберігання у залізничні вагони (додаток В).

Для створення моделі необхідно знати середню вагу одного вантажного місця та їхню кількість у вагоні.

Середню вагу вантажного місця визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{вант.м}}^{\text{сер}} = \frac{\sum_{i=1}^p M + \sum_{i=1}^r R}{n_p + m_r}, \quad (4.1)$$

де  $M$  - вага кожної пачки металу, т;

$R$  - вага кожного рулону металу, т;

$n_p$  - кількість пачок металу, од.;

$m_r$  - кількість рулонів, од.

За результатами обробки статистичних даних відвантаження металопрокату в пачках та рулонах (дані таблиць додатку В) отримали середню вагу одного вантажного місця 9,89 т.

Середню кількість вантажних місць, що завантажуються в один вагон, розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{q_{\text{ваг}}}{Q_{\text{вант.м}}^{\text{сер}}}, \quad (4.2)$$

де  $q_{\text{ваг}}$  - середнє завантаження залізничного вагона, т; за даними таблиць В.1, В.2 додатку Б  $q_{\text{ваг}} = 62,8$  т.

Метал відвантажують із зони складування у певний час. Для спостережень узято обсяги відвантаження за певний інтервал часу (табл. 4.1). За тривалість цього інтервалу взято час, протягом якого практично завжди виконують навантаження хоча б однієї партії – 20 хв.

Таблиця 4.1 – Кількість відправок за інтервали часу

Часові інтервали	Кількість спостережень	Часові інтервали	Кількість спостережень	Часові інтервали	Кількість спостережень	Часові інтервали	Кількість спостережень
00 <sup>00</sup> -00 <sup>19</sup>	6	06 <sup>00</sup> -06 <sup>19</sup>	6	12 <sup>00</sup> -12 <sup>19</sup>	5	18 <sup>00</sup> -18 <sup>19</sup>	4
00 <sup>20</sup> -00 <sup>39</sup>	5	06 <sup>20</sup> -06 <sup>39</sup>	3	12 <sup>20</sup> -12 <sup>39</sup>	2	18 <sup>20</sup> -18 <sup>39</sup>	8
00 <sup>40</sup> -00 <sup>59</sup>	5	06 <sup>40</sup> -06 <sup>59</sup>	5	12 <sup>40</sup> -12 <sup>59</sup>	2	18 <sup>40</sup> -18 <sup>59</sup>	3
01 <sup>00</sup> -01 <sup>19</sup>	3	07 <sup>00</sup> -07 <sup>19</sup>	3	13 <sup>00</sup> -13 <sup>19</sup>	6	19 <sup>00</sup> -19 <sup>19</sup>	4
01 <sup>20</sup> -01 <sup>39</sup>	4	07 <sup>20</sup> -07 <sup>39</sup>	5	13 <sup>20</sup> -13 <sup>39</sup>	3	19 <sup>20</sup> -19 <sup>39</sup>	1
01 <sup>40</sup> -01 <sup>59</sup>	0	07 <sup>40</sup> -07 <sup>59</sup>	5	13 <sup>40</sup> -13 <sup>59</sup>	3	19 <sup>40</sup> -19 <sup>59</sup>	6
02 <sup>00</sup> -02 <sup>19</sup>	3	08 <sup>00</sup> -08 <sup>19</sup>	8	14 <sup>00</sup> -14 <sup>19</sup>	4	20 <sup>00</sup> -20 <sup>19</sup>	4
02 <sup>20</sup> -02 <sup>39</sup>	3	08 <sup>20</sup> -08 <sup>39</sup>	1	14 <sup>20</sup> -14 <sup>39</sup>	0	20 <sup>20</sup> -20 <sup>39</sup>	2
02 <sup>40</sup> -02 <sup>59</sup>	3	08 <sup>40</sup> -08 <sup>59</sup>	6	14 <sup>40</sup> -14 <sup>59</sup>	5	20 <sup>40</sup> -20 <sup>59</sup>	6
03 <sup>00</sup> -03 <sup>19</sup>	3	09 <sup>00</sup> -09 <sup>19</sup>	3	15 <sup>00</sup> -15 <sup>19</sup>	5	21 <sup>00</sup> -21 <sup>19</sup>	3
03 <sup>20</sup> -03 <sup>39</sup>	2	09 <sup>20</sup> -09 <sup>39</sup>	5	15 <sup>20</sup> -15 <sup>39</sup>	7	21 <sup>20</sup> -21 <sup>39</sup>	5
03 <sup>40</sup> -03 <sup>59</sup>	2	09 <sup>40</sup> -09 <sup>59</sup>	6	15 <sup>40</sup> -15 <sup>59</sup>	1	21 <sup>40</sup> -21 <sup>59</sup>	4
04 <sup>00</sup> -04 <sup>19</sup>	4	10 <sup>00</sup> -10 <sup>19</sup>	3	16 <sup>00</sup> -16 <sup>19</sup>	6	22 <sup>00</sup> -22 <sup>19</sup>	5
04 <sup>20</sup> -04 <sup>39</sup>	3	10 <sup>20</sup> -10 <sup>39</sup>	3	16 <sup>20</sup> -16 <sup>39</sup>	2	22 <sup>20</sup> -22 <sup>39</sup>	1
04 <sup>40</sup> -04 <sup>59</sup>	3	10 <sup>40</sup> -10 <sup>59</sup>	4	16 <sup>40</sup> -16 <sup>59</sup>	3	22 <sup>40</sup> -22 <sup>59</sup>	3
05 <sup>00</sup> -05 <sup>19</sup>	6	11 <sup>00</sup> -11 <sup>19</sup>	3	17 <sup>00</sup> -17 <sup>19</sup>	4	23 <sup>00</sup> -23 <sup>19</sup>	3
05 <sup>20</sup> -05 <sup>39</sup>	3	11 <sup>20</sup> -11 <sup>39</sup>	4	17 <sup>20</sup> -17 <sup>39</sup>	3	23 <sup>20</sup> -23 <sup>39</sup>	0
05 <sup>40</sup> -05 <sup>59</sup>	3	11 <sup>40</sup> -11 <sup>59</sup>	3	17 <sup>40</sup> -17 <sup>59</sup>	1	23 <sup>40</sup> -23 <sup>59</sup>	3

На підставі зібраних статистичних даних будуємо гістограму (рис. 4.2) для визначення закону розподілу випадкової величини кількості вантажних місць у вагонах, що завантажуються за визначений період часу.



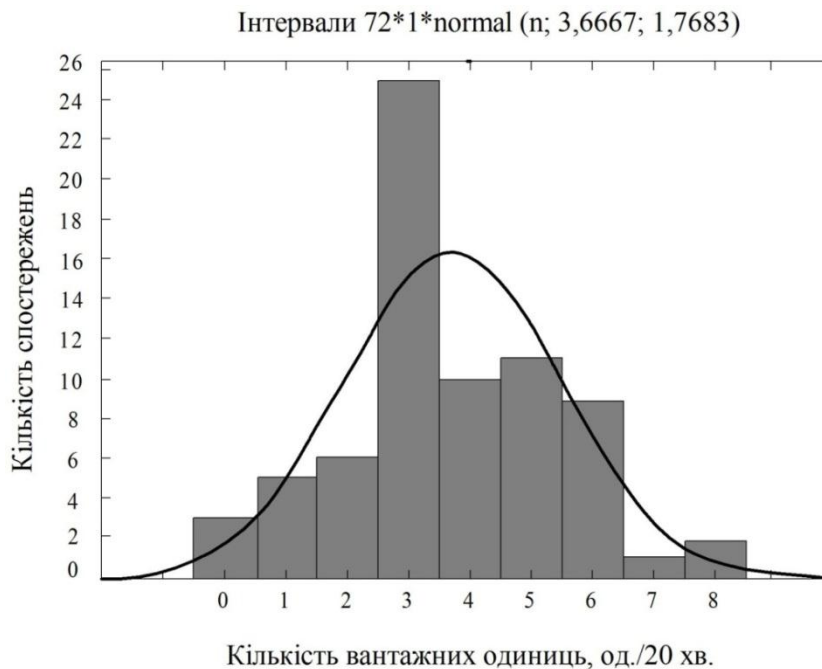


Рисунок 4.2 – Гістограма розподілу кількості вантажних місць у вагонах

Виходячи з візуального аналізу гістограми, закон розподілу є нормальний, з параметрами: середня кількість вантажних місць 3,6667, стандартне відхилення 1,7683.

#### **4.2 Моделювання роботи пунктів навантаження металопродукції при відправленні залізничним транспортом**

Моделювання роботи вантажного фронту відвантаження металопрокату виконуємо за допомогою програмного забезпечення Service Model, яке розроблений спеціально для поліпшення процесів обслуговування. Використання його дає можливість зменшити витрати на операції обслуговування, зменшити час очікування в системах обслуговування, поліпшити використання різних ресурсів і якості обслуговування.

Кількість варіантів спільного обслуговування вантажного фронту мостовими кранами значна, тому для моделювання обираємо три варіанти спільної роботи мостових кранів:

- модель «9 – 1 – 1 – 10», коли зона спільного обслуговування складає 2 вагони;

- модель «3 – 8 – 7 – 3», коли зона спільного обслуговування складає 15 вагонів;

- модель «7 – 4 – 3 – 7», коли зона спільного обслуговування складає 7 вагонів.

Для базового моделювання створюємо модель «7 – 4 – 3 – 7», при якій обидва крани обслуговують групи по 14 вагонів, а група з 7 вагонів завантажується двома кранами (рис. 4.3).

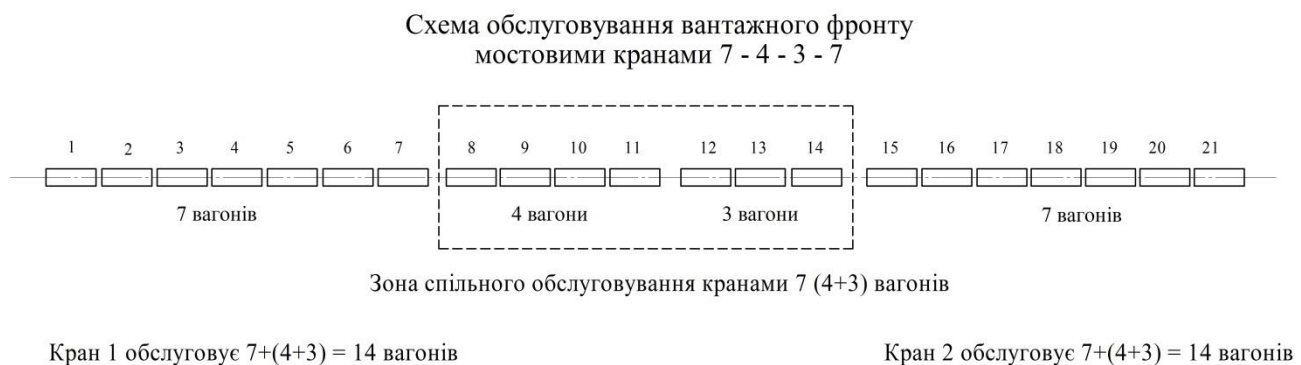


Рисунок 4.3 – Схема базової моделі обслуговування вантажного фронту мостовими кранами

В програмному середовищі Service Model блок «Елементи обслуговування» (Entity) – це предмет, що підлягає обслуговуванню. В нашому випадку це окремі вантажні місця – пачки з металом та рулони металу. Кожний елемент обслуговування має ім'я, графічне зображення, швидкість руху, розміри та певні атрибути. Елемент обслуговування переміщуються у моделі за визначеними маршрутами, що визначаються логікою моделі та встановлюються її розробником. Елементом обслуговування є пачка або рулон металопродукату.

Контрольними точками (Locations) є фіксовані місця моделі, через які проходять маршрути руху елементів обслуговування, утворюються черги з цих елементів чи приймаються рішення щодо їх подальшого руху. Кожна

контрольна точка має визначену обмежену місткість, значенням якої можна керувати, оскільки у визначений момент часу у контрольній точці може знаходитися один або декілька елементів обслуговування.

Контрольні точки представляють на робочому полі моделі у вигляді графічних елементів (рис. 4.4), для яких визначаються часові режими. На вході і виході кожної контрольної точки встановлюється порядок вибору і сортування елементів обслуговування.



Рисунок 4.4 – Робоче поле моделі у вікні Layout з розташованими на ньому контрольними точками

Усього в моделі розташовуємо 10 контрольних точок, що відповідають шести зонам ділянки відвантаження, куди надходить металопрокат на трансферкарах та чотирьом групам вагонів (CarriagesGroup).

Схема розташування контрольних точок базової моделі на фронті відвантаження наведена на рис. 4.5.

Місткість контрольних точок, що відповідають групам вагонів, розраховується за формулою:

$$E = c_{\text{ваг}} \cdot n \cdot q_{\text{под}}, \quad (4.3)$$

де  $c_{\text{ваг}}$  - кількість вагонів у визначеній групі, ваг.;

$q_{\text{под}}$  - кількість подач вагонів на вантажний фронт за добу, подач.



Рисунок 4.5 – Схема розташування контрольних точок моделі «7-4-3-7»

Для контрольних точок 7-10, які відповідають групам вагонів, місткість, згідно розрахунків за формулою (3.4), становить відповідно: 89; 50; 39; 89 вантажних місць. Загальна ємність – 267 місць.

Визначення потоків прибуття. За допомогою блоку «Потоки прибуття» (Arrivals) визначаємо, які через які контрольні точки в модель входять елементи обслуговування – пачки або рулони металопрокату. Для кожного елемента обслуговування встановлюємо точку входу в модель, фіксуємо час першого надходження, інтервал між надходженням та загальну кількість елементів обслуговування, що надходять до моделі.

У базовій моделі місця розподілено між зонами складу випадковим чином, а інтервал часу між послідовними надходженнями елементів обслуговування задано нормальним законом розподілу із середнім інтервалом 0,18 вант. од./хв. і стандартним відхиленням 0,088 вант. од./хв.

Встановлення операційної логіки. Блок «Операційна логіка» (Processing) визначає порядок та послідовність обслуговування елементів у контрольних точках моделі.

У вікні Process вказуються операції, що виконуються з елементами обслуговування у контрольних точках моделі. У вікні Routing встановлюється логіка подальшого переміщення елементів обслуговування після закінчення операцій у відповідній контрольній точці. Таким чином, кожному рядку у таблиці вікна Process відповідають один чи декілька рядків таблиці вікна Routing. Операційна логіка базової моделі визначена на рис. 4.6.

Entity...	Location...	Operation...
Metal	WarehouseArea_1	
Metal	WarehouseArea_2	
Metal	WarehouseArea_3	
Metal	WarehouseArea_4	
Metal	WarehouseArea_5	
Metal	WarehouseArea_6	
Metal	CarriagesGroup_I	ACCUM 63
Metal	CarriagesGroup_II	ACCUM 36
Metal	CarriagesGroup_III	ACCUM 27
Metal	CarriagesGroup_IV	ACCUM 63

Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
	Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
	Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
	Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
	Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
1	Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
	Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
	Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
1	Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
	Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
1	Metal	EXIT	FIRST 1	
1	Metal	EXIT	FIRST 1	
1	Metal	EXIT	FIRST 1	
1	Metal	EXIT	FIRST 1	

Рисунок 4.6 – Визначення операційної логіки моделі «7 – 4 – 3 – 7»

Перший рядок таблиці вікна Process визначає дії, що виконуються з елементом обслуговування Metal у контрольній точці WarehouseArea\_1, яка відповідає трансферкарному візку 1. Оскільки ніяких додаткових дій у контрольній точці WarehouseArea\_1 з елементом обслуговування Metal не відбувається, дані у стовпчику Operation відсутні. Цьому рядку таблиці вікна Process відповідають два рядки у таблиці вікна Routing, де вказується, що після виконання операцій з елементом обслуговування Metal у контрольній точці WarehouseArea\_1 з неї виходять елементи обслуговування Metal і слідує до

визначених груп вагонів (CarriagesGroup\_I та CarriagesGroup\_II) випадковим порядком. Переміщення виконується мостовим краном №1 (Crane 1).

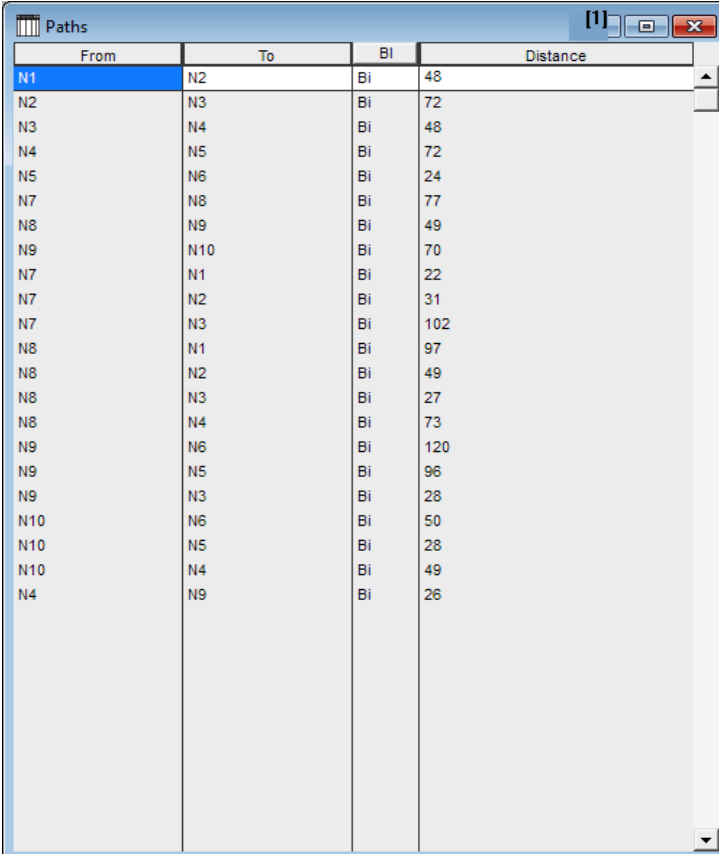
Надалі вікна Process та відповідні рядки вікна Routing заповнюємо вищенаведеним порядком у відповідності до схеми переміщення вантажних місць.

Для визначення шляхів руху елементів обслуговування та ресурсів між контрольними точками моделі використовують мережні шляхи (Path Networks). Рух між точками мережного шляху визначається тривалістю або швидкістю та певною відстанню між ними.

Мережний шлях складається з вузлів (Nodes) та сегментів шляху (Path Segments) між ними. До кожного вузла може бути приєднано декілька сегментів, але кожні два вузли можуть бути з'єднані тільки одним сегментом шляху. Якщо існує декілька можливих маршрутів руху між вузлами, елементи обслуговування та ресурси переміщуються найкоротшим шляхом (якщо користувачем не встановлений інший шлях просування).

Сегменти шляху допускають рух в обох напрямках, утворення черг (Metal та Crane не можуть обганяти один одного у межах сегменту) або не допускати утворення черг (обгін Metal та Crane у межах сегменту допускається). Крім того, вузли мережного шляху зв'язують (Interfaces) його сегменти з контрольними точками моделі.

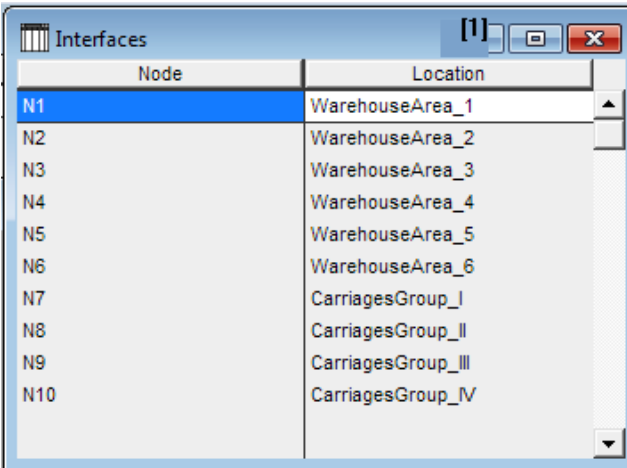
У відповідних рядках стовпчика Distance вікна Paths встановлюємо довжину (в метрах) сегментів мережного шляху (рис. 4.7), відповідно до фактичного розташування трансферкарних візків та умовних центрів груп вагонів. Значення у стовпчику BI може бути Bi (Bidirectional), якщо рух сегментом можливий в обох напрямках або Un (Unidirectional), якщо рух можливий тільки в одному напрямку.



From	To	BI	Distance
N1	N2	Bi	48
N2	N3	Bi	72
N3	N4	Bi	48
N4	N5	Bi	72
N5	N6	Bi	24
N7	N8	Bi	77
N8	N9	Bi	49
N9	N10	Bi	70
N7	N1	Bi	22
N7	N2	Bi	31
N7	N3	Bi	102
N8	N1	Bi	97
N8	N2	Bi	49
N8	N3	Bi	27
N8	N4	Bi	73
N9	N6	Bi	120
N9	N5	Bi	96
N9	N3	Bi	28
N10	N6	Bi	50
N10	N5	Bi	28
N10	N4	Bi	49
N4	N9	Bi	26

Рисунок 4.7 – Визначення сегментів мережного шляху моделі «7 – 4 – 3 – 7»

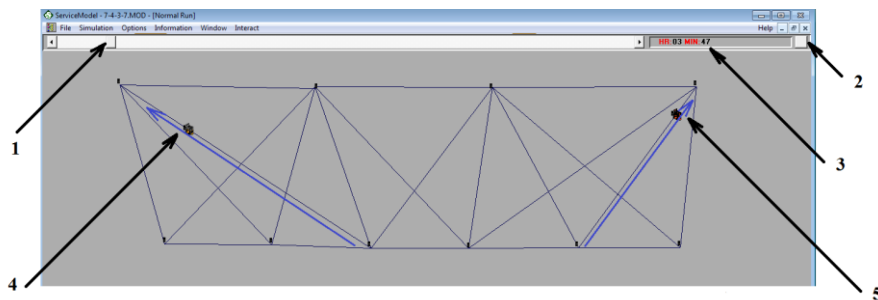
Наступним кроком зв'язуємо вузли мережного шляху з відповідними контрольними точками (рис. 4.8).



Node	Location
N1	WarehouseArea_1
N2	WarehouseArea_2
N3	WarehouseArea_3
N4	WarehouseArea_4
N5	WarehouseArea_5
N6	WarehouseArea_6
N7	CarriagesGroup_I
N8	CarriagesGroup_II
N9	CarriagesGroup_III
N10	CarriagesGroup_IV

Рисунок 4.8 – Визначення зв'язку вузлів з контрольними точками моделі «7 – 4 – 3 – 7»

Схема мережі імітаційної моделі в середовищі Service Model, наведена на рис. 4.9.



1 - повзунець управління швидкістю моделювання; 2 - кнопка управління масштабом відображення часу; 3 - поточний час моделювання; 4 - переміщення ресурсу Crane\_1 з елементом обслуговування Metal від контрольної точки Warehouse-Area\_3 до контрольної точки CarriagesGroup\_I мережним шляхом Net; 5 - переміщення ресурсу Crane\_2 з елементом обслуговування Metal від контрольної точки Warehouse-Area\_5 до контрольної точки CarriagesGroup\_IV мережним шляхом Net

Рисунок 4.9 – Схема мережі імітаційної моделі

У верхньому рядку вікна імітаційної моделі виводимо поточний час моделювання, який можемо прискорити чи уповільнити. Процес моделювання в ході проведення експерименту триває 24 години. По закінченні моделювання виводимо отримані результати.

Статистику результатів моделювання для моделі «7 – 4 – 3 – 7» представлено у таблицях 4.2 - 4.4: таблиця 4.2 – статистика по контрольним точкам; таблиця 4.3 – статистика по ресурсам; таблиця 4.4 – статистика по елементам обслуговування.



Таблиця 4.2 – Статистика по контрольним точкам базової моделі «7 – 4 – 3 – 7»

Назва контрольної точки	Кількість елементів Metal, що надійшли до контрольної точки	Середній час, протягом якого елементи Metal перебували у контрольній точці, хв.	Кількість елементів Metal, що перебували у контрольній точці при моделюванні	Процент часу, коли у контрольній точці не перебували елементи Metal
Warehouse Area 1	50	253,73	8,81	52,16
Warehouse Area 2	28	169,61	3,30	67,56
Warehouse Area 3	61	301,21	12,76	43,50
Warehouse Area 4	55	286,56	10,95	52,14
Warehouse Area 5	29	176,52	3,55	67,57
Warehouse Area 6	41	244,28	6,96	57,24
Carriages Group I	88	350,95	21,45	44,07
Carriages Group II	50	203,65	7,07	68,61
Carriages Group III	39	198,65	5,38	31,04
Carriages Group IV	87	1000,80	60,47	0,04

Таблиця 4.3 – Статистика по ресурсам базової моделі «7 – 4 – 3 – 7»

Назва ресурсу	Кількість елементів Metal, переміщених ресурсами Crane	Середній час переміщення елементів Metal ресурсом Crane, хв.	Відсоток часу	
			перебування елемента Metal в роботі	простою
Crane 1	139	3,72	56,63	43,37
Crane 2	125	3,52	48,41	51,59

Таблиця 4.4 – Статистика по елементам обслуговування базової моделі «7 – 4 – 3 – 7»

Ім'я елемента обслуговування	Середній час, хв.			Процент часу,	
	перебування елемента Metal у моделі	знаходження елемента Metal у стані руху	очікування елементом Metal надходження ресурсу	перебування елемента Metal у стані руху	очікування елементом Metal надходження ресурсу
Metal	509,52	235,72	273,80	46,26	53,74

Складання альтернативних моделей. Для визначення оптимального варіанту обслуговування ділянки відвантаження мостовими кранами приймаємо до проектного моделювання ще дві схеми роботи кранів:

1. Схема «9 – 1 – 1 – 10».

При такій схемі кран № 146 завантажує метал у групу 11 вагонів (9+2), а кран № 126 – у групу з 12 вагонів (2+10). Тобто два вагони при такій схемі зможуть завантажуватися двома кранами (рис. 4.10).

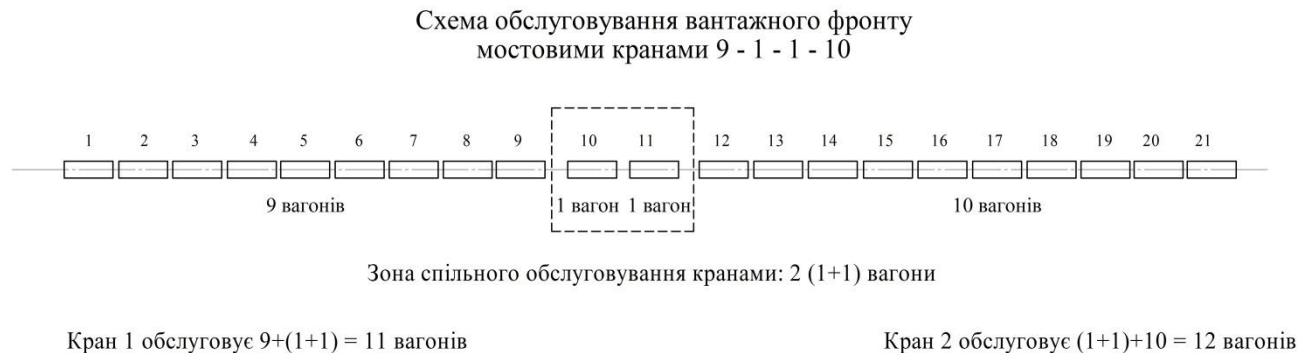


Рисунок 4.10 – Схема моделі обслуговування вантажного фронту мостовими кранами «9 – 1 – 1 – 10»

2. Схема «3 – 8 – 7 – 3».

При такій схемі обидва крани завантажують метал у групи з 18 вагонів (3+15 або 15+3). Група з 15 вагонів завантажуватиметься двома кранами (рис. 4.11).

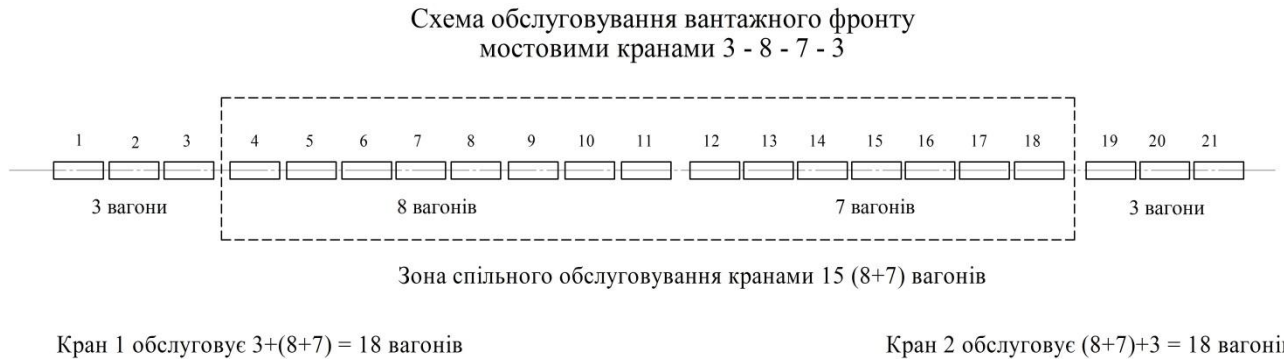


Рисунок 4.11 – Схема моделі обслуговування вантажного фронту  
мостовими кранами «3 – 8 – 7 – 3»

Створюємо нові моделі «9 – 1 – 1 – 10» та «3 – 8 – 7 – 3».

Елементом обслуговування є Metal з такі ж самими характеристиками.

Контрольні точки двох розроблених альтернативних моделей показані на рисунках 4.12 та 4.13.

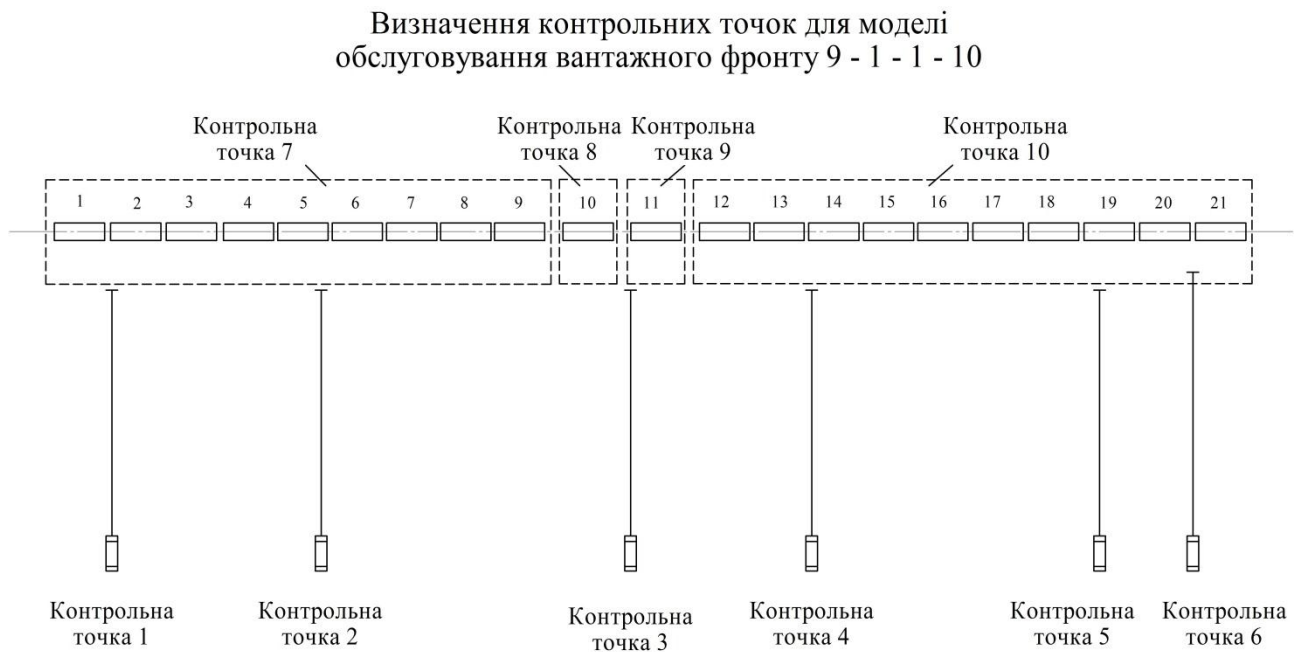


Рисунок 4.12 – Схема розташування контрольних точок  
альтернативної моделі «9 – 1 – 1 – 10»

Визначення контрольних точок для моделі  
обслуговування вантажного фронту 3 - 8 - 7 - 3

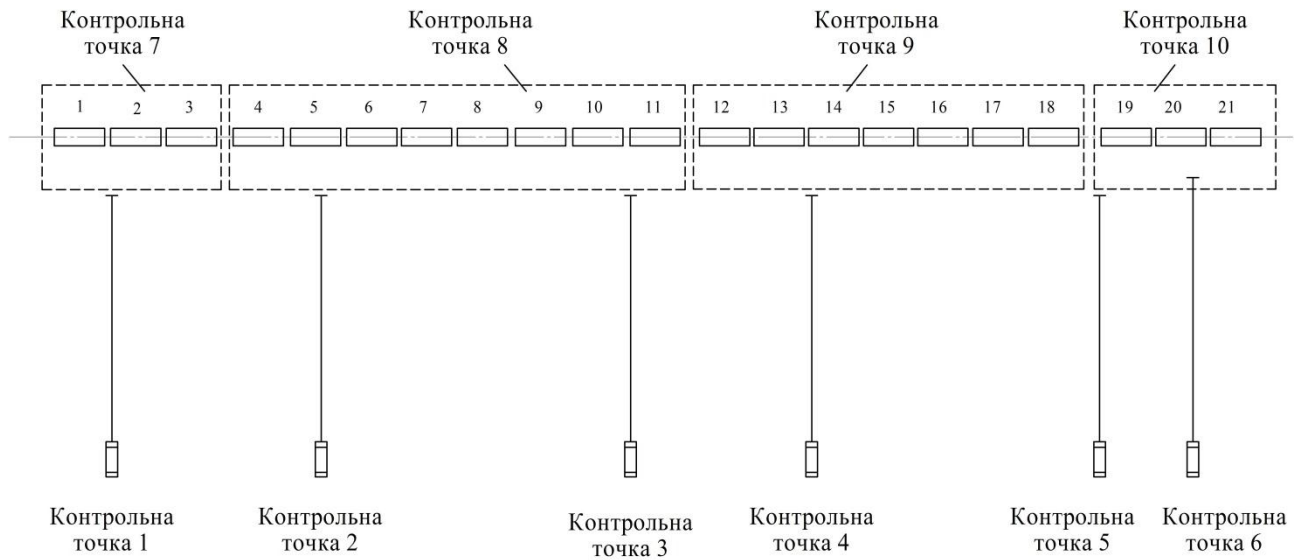


Рисунок 4.13 – Схема розташування контрольних точок  
альтернативної моделі «3 – 8 – 7 – 3»

Потоки прибуття альтернативних моделей залишаються ідентичними до базової моделі, а в операційній логіці змінюємо кількість вантажних місць, що необхідно акумулювати у кожній групі вагонів (рис. 4.14, 4.15).

Process			Routing for Metal @ WarehouseArea_1				
Entity...	Location...	Operation...	Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
Metal	WarehouseArea_1		1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_2		1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_3		1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_4		1	Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_5		1	Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_6		1	Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_I	ACCUM 81	1	Metal	EXIT	FIRST 1	
Metal	CarriagesGroup_II	ACCUM 9	1	Metal	EXIT	FIRST 1	
Metal	CarriagesGroup_III	ACCUM 9	1	Metal	EXIT	FIRST 1	
Metal	CarriagesGroup_IV	ACCUM 90	1	Metal	EXIT	FIRST 1	

Рисунок 4.14 – Операційна логіка альтернативної моделі «9 – 1 – 1 – 10»

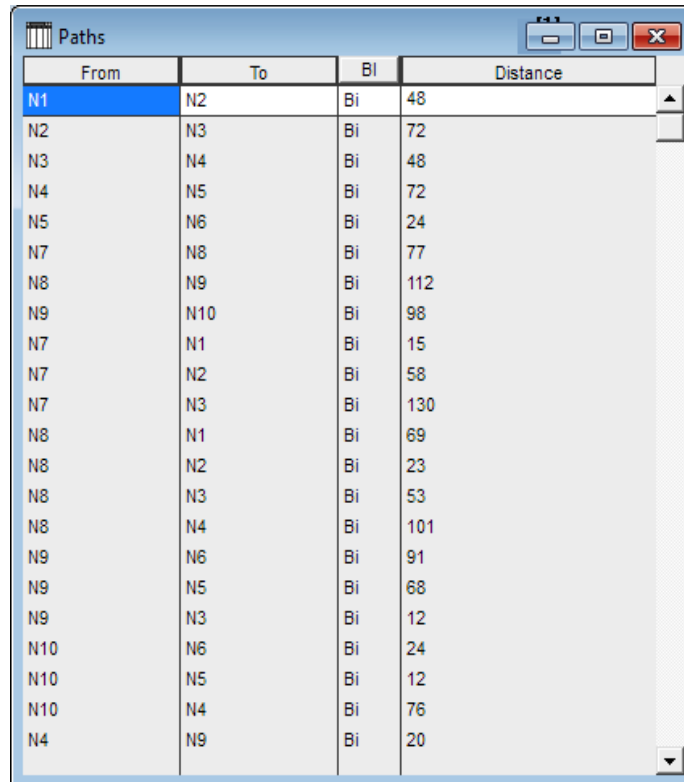
Entity...	Location...	Operation...	Blk	Output...	Destination...	Rule...	Move Logic...
Metal	WarehouseArea_1		1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_2		1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_3		1	Metal	CarriagesGroup_I	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM	MOVE WITH Crane_1 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_4		1	Metal	CarriagesGroup_II	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_5		1	Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	WarehouseArea_6		1	Metal	CarriagesGroup_III	RANDOM 1	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
				Metal	CarriagesGroup_IV	RANDOM	MOVE WITH Crane_2 THEN FREE
Metal	CarriagesGroup_I	ACCUM 27	1	Metal	EXIT	FIRST 1	
Metal	CarriagesGroup_II	ACCUM 72	1	Metal	EXIT	FIRST 1	
Metal	CarriagesGroup_III	ACCUM 63	1	Metal	EXIT	FIRST 1	
Metal	CarriagesGroup_IV	ACCUM 27	1	Metal	EXIT	FIRST 1	

Рисунок 4.15 – Операційна логіка альтернативної моделі «3 – 8 – 7 – 3»

В нових моделях мережний шлях залишається аналогічним до базової моделі з редагуванням відстаней між вузлами відповідно до фактичних значень (рис. 4.16, 4.17).

From	To	BI	Distance
N1	N2	Bi	48
N2	N3	Bi	72
N3	N4	Bi	48
N4	N5	Bi	72
N5	N6	Bi	24
N7	N8	Bi	70
N8	N9	Bi	14
N9	N10	Bi	77
N7	N1	Bi	15
N7	N2	Bi	35
N7	N3	Bi	88
N8	N1	Bi	104
N8	N2	Bi	56
N8	N3	Bi	21
N8	N4	Bi	66
N9	N6	Bi	91
N9	N5	Bi	124
N9	N3	Bi	12
N10	N6	Bi	71
N10	N5	Bi	48
N10	N4	Bi	147
N4	N9	Bi	52

Рисунок 4.16 – Сегменти мережного шляху моделі «9 – 1 – 1 – 10»



From	To	Bi	Distance
N1	N2	Bi	48
N2	N3	Bi	72
N3	N4	Bi	48
N4	N5	Bi	72
N5	N6	Bi	24
N7	N8	Bi	77
N8	N9	Bi	112
N9	N10	Bi	98
N7	N1	Bi	15
N7	N2	Bi	58
N7	N3	Bi	130
N8	N1	Bi	69
N8	N2	Bi	23
N8	N3	Bi	53
N8	N4	Bi	101
N9	N6	Bi	91
N9	N5	Bi	68
N9	N3	Bi	12
N10	N6	Bi	24
N10	N5	Bi	12
N10	N4	Bi	76
N4	N9	Bi	20

Рисунок 4.17– Сегменти мережного шляху моделі «3 – 8 – 7 – 3»

Динамічні ресурси Crane\_1 і Crane\_2 не корегуємо, тому що в роботі кранів змін не відбувається.

Після збереження альтернативних моделей і безпосередньо самого моделювання, отримуємо його результати.

Статистика по контрольним точкам розглянутих моделей обслуговування фронту відвантаження металопрокату «3 – 8 – 7 – 3» та «9 – 1 – 1 – 10» показана в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Статистика по контрольним точкам моделей «3 – 8 – 7 – 3» та «9 – 1 – 1 – 10»

Назва контрольної точки	Кількість елементів Metal, що надійшли до контрольної точки	Середній час, протягом якого елементи Metal перебували у контрольній точці, хв.	Кількість елементів Metal, що перебували у контрольній точці при моделюванні	Процент часу, коли у контрольній точці не перебували елементи Metal
Моделювання «9 – 1 – 1 – 10»				
Warehouse Area 1	50	219,55	7,62	55,57
Warehouse Area 2	28	149,82	2,91	67,86
Warehouse Area 3	61	267,22	11,32	45,79
Warehouse Area 4	55	458,34	17,51	27,90
Warehouse Area 5	29	269,16	5,42	51,97
Warehouse Area 6	41	357,85	10,19	39,52
Carriages Group I	126	353,06	30,89	0,87
Carriages Group II	13	1 339,62	12,09	2,36
Carriages Group III	13	1 363,30	12,31	1,18
Carriages Group IV	112	891,82	69,36	0,63
Моделювання «7 – 4 – 3 – 7»				
Warehouse Area 1	50	253,73	8,81	52,16
Warehouse Area 2	28	169,61	3,30	67,56
Warehouse Area 3	61	301,21	12,76	43,50
Warehouse Area 4	55	286,56	10,95	52,14
Warehouse Area 5	29	176,52	3,55	67,57
Warehouse Area 6	41	244,28	6,96	57,24
Carriages Group I	88	350,95	21,45	44,07
Carriages Group II	50	203,65	7,07	68,61
Carriages Group III	39	198,65	5,38	31,04
Carriages Group IV	87	1000,80	60,47	0,04

Аналіз результатів використання мостових кранів за різними моделями обслуговування вантажного фронту складу готової продукції показаний в табл. 4.6.

Таблиця 4.6 – Аналіз результатів використання мостових кранів

Назва ресурсу	Кількість елементів Metal, переміщених ресурсами Crane	Середній час переміщення елементів Metal ресурсом Crane, хв.	Відсоток часу, %	
			перебування елемента Metal в роботі	простою
Моделювання «7 – 4 – 3 – 7»				
Crane1	139	372	56,63	43,37
Crane2	125	352	48,41	51,59
Загальний час		724 (12,07 год.)		
Моделювання «9 – 1 – 1 – 10»				
Crane1	139	365	54,50	45,40
Crane2	125	501	72,84	27,16
Загальний час		866 (14,4 год.)		
Моделювання «3 – 8 – 7 – 3»				
Crane1	139	289	44,47	55,53
Crane2	125	301	39,99	70,01
Загальний час		590 (9,8 год.)		

Отримані результати моделювання поопераційного аналізу часу просування вантажопотоку металопрокату залежно від зон роботи кранів наведені в табл. 4.7.

#### Основні параметри альтернативних моделей

Після проведення моделювання двох варіантів завантаження вагонів кранами, видно, що при варіанті «9 – 1 – 1 – 10» середній час перебування одного вантажного місця в моделі складає 14,4 год. а тривалість самого моделювання – 17,47 год.; при варіанті обслуговування вантажного фронту за схемою «3 – 8 – 7 – 3» – 9,8 год. при тривалості самого моделювання 10,67 год.



Таблиця 4.7 – Поопераційний аналіз часу просування вантажопотоку металопрокату

Середній час, хв.			Відсоток часу, %	
перебування елемента Metal у моделі	перебування елемента Metal у стані руху	очікування елемента Metal на подачу крана	перебування елемента Metal у стані руху	очікування елемента Metal на подачу крана
Моделювання «7 – 4 – 3 – 7»				
509,52	235,72	273,80	46,26	53,74
Моделювання «9 – 1 – 1 – 10»				
540,98	228,49	312,48	42,24	57,76
Моделювання «3 – 8 – 7 – 3»				
330,99	147,88	163,11	44,68	55,32

У ході виконаних досліджень розроблено імітаційну модель роботи лінійного фронту навантаження вагонів мостовими кранами. При завантаженні мостовими кранами за схемою з максимальною кількістю вагонів в зоні спільного обслуговування значно скорочується і час завантаження групи вагонів (до 9,8 год.) і час роботи кранів (на 30%), що дозволяє їх більш ефективно використовувати в основному технологічному процесі прокатного цеху.

При максимальній кількості вагонів у зоні спільного обслуговування отримано найкращі результати. На основі даної імітаційної моделі розроблено процедуру визначення найбільш ефективного управління роботою фронту відвантаження металопрокату у залізничні вагони.

Більшість металургійних підприємств України були орієнтовані на відправлення готової продукції залізничним транспортом. В сучасних умовах зміни сфери споживання, зокрема при збільшенні вантажопотоків до невеликих підприємств, розташованих на незначній відстані, виникла потреба більш широкого використання автомобільного транспорту.

### **4.3 Моделювання роботи пунктів навантаження металопродукції при відправленні автомобільним транспортом**

Кілька крупних металургійних підприємств України розташовані поблизу морських (річкових) портів. В останні роки очевидною є економічна доцільність використання саме автомобільного транспорту для доставки металопродукції в порти. В зв'язку з цим, технологія роботи складів готової продукції на металургійних підприємствах зазнала суттєвих змін.

Не руйнуючі існуючу технологію відвантаження продукції залізничним транспортом, були внесені такі технологічні зміни:

- на всіх автомобільних в'їздах до прокатних цехів облаштовані пункти навантаження;

- на більшості залізничних в'їздів відпрацьована технологія навантаження автотранспорту на ділянці колії, яка простягається від воріт вглиб цеху на 20-60 м, що дозволяє здійснювати навантаження від 1 до 3 автотранспортних засобів.

Звісно, для перевезення великовагових вантажів здебільшого використовуються автомобілі максимально дозваної вантажопідйомності. Але, поруч з цим, багаточисельні споживачі використовують автотранспорт різної вантажопідйомності.

Комплектація замовлень для великої кількості відносно дрібних споживачів неможлива через обмеженість території складів продукції.

За таких умов, із урахуванням стохастичного характеру ваги окремих вантажних місць, розроблена методика імітаційного моделювання процесу навантаження на автомобільний транспорт, за допомогою якої є можливим оцінити ефективність використання автотранспорту різних марок та типів.

В ринкових умовах підприємства-споживачі можуть самостійно обирати для перевезень власний автопарк через його дешевизну або великовантажний автотранспорт транспортних компаній, який дозволяє більш повно використовувати вантажопідйомність автотранспортних засобів.

Пропонується наступна технологія та алгоритм оцінки ефективності використання автотранспорту для доставки вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції. Схема імітаційної дискретно-подійної моделі представлена на рисунку 4.14.

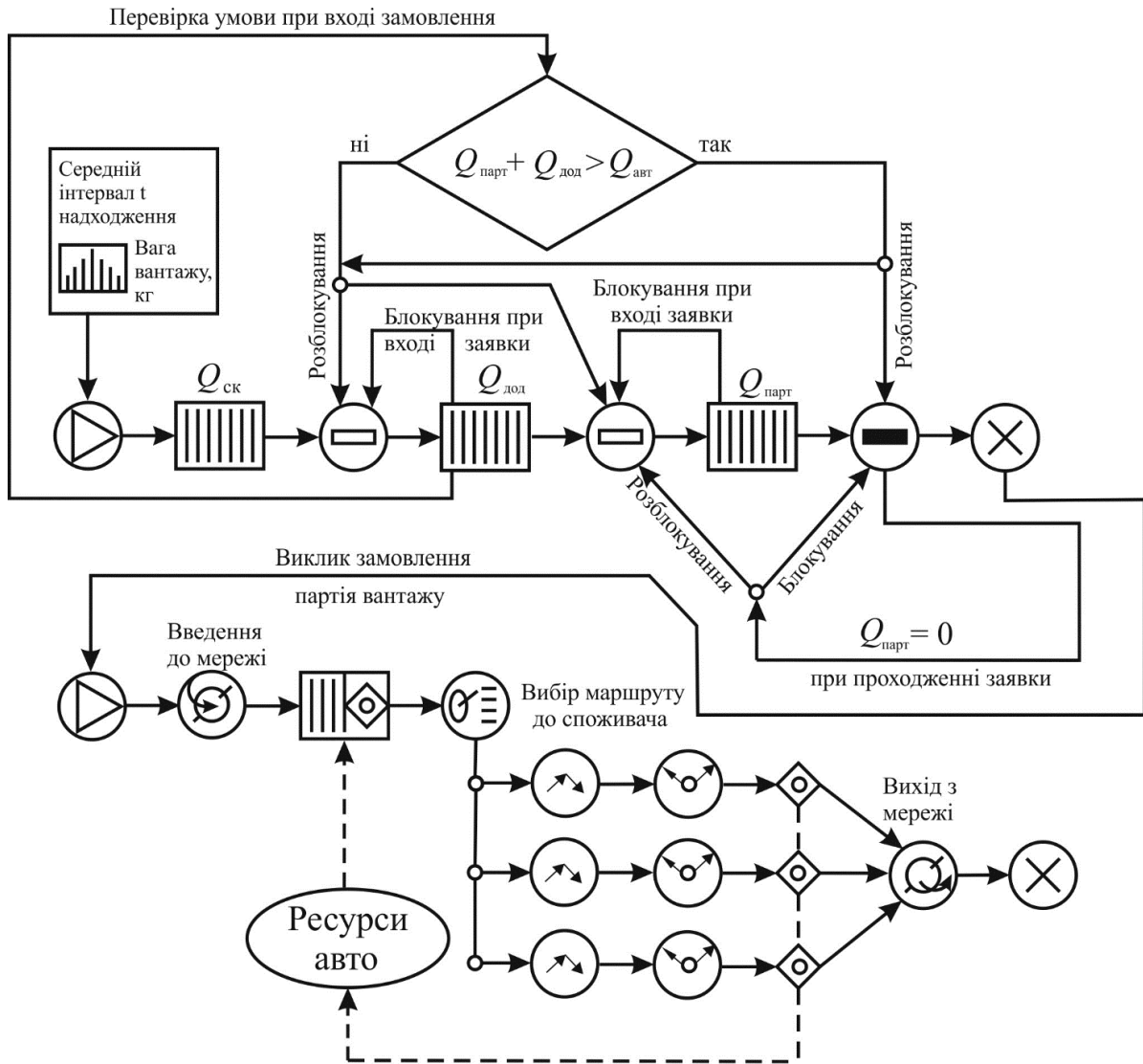


Рисунок 4.14 – Схема імітаційної дискретно-подійної моделі відвантаження металопродукції автомобільним транспортом

Умовні позначення відповідають наведеному на рисунку 3.4, окрім наступних елементів:

- блокатор  $\ominus$ , який, на відмінність від блокатора  $\omin�$ , заблокований при початку роботи алгоритму;
- елемент введення заявки до транспортної мережі програми імітаційного моделювання  $\oplus$ ;
- елемент виводу з транспортної мережі заявки  $\omin�$ ;
- елемент вибору маршруту доставки металопродукції  $\oplus$ .

На рисунку 4.14 початковим елементом є генератор замовлень  $\oplus$  (верхня гілка руху замовлень – рисунок 4.15). Заявкою є одне вантажне місце металопродукції.

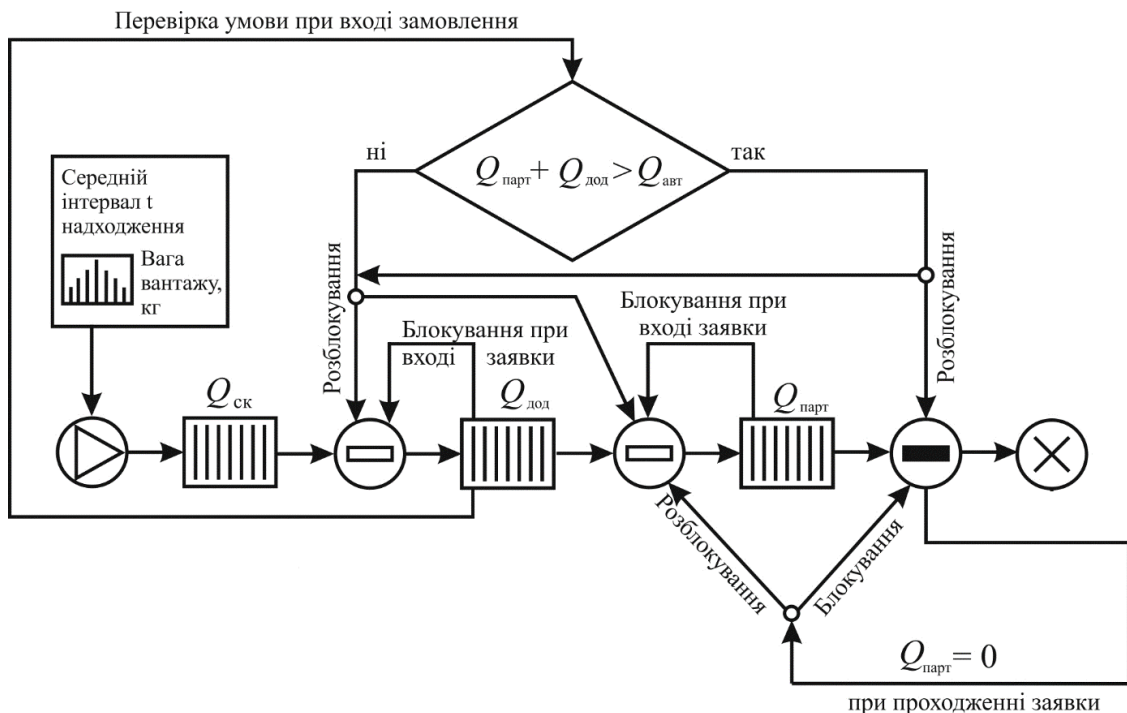


Рисунок 4.15 – Схема руху заявок - вантажних місць

Кількість таких елементів може відповідати кількості виробничих технологічних ліній, також можна об'єднати ці лінії в одну у межах складу готової продукції.

Інтенсивність виходу вантажних місць та їх вагу можна задавати за відповідними, визначеними при дослідженні, законами розподілу випадкової величини.

Відповідно до технології відвантаження, заявки потрапляють на склад – до черги  $Q_{ск}$ .

Імітація формування партії вантажу, яка може бути розміщена в автотранспортних засобах, здійснюється елементами блокування входу до черг  $Q_{дод}$  та  $Q_{парт}$ .

Вимога додавання заявки до партії вантажу визначається не виконанням умови:

$$Q_{парт} + Q_{дод} > Q_{авт}, \quad (4.3)$$

де  $Q_{авт}$  - вантажопідйомність автомобіля, т.

Якщо умова (4.3) виконується, комплект заявок переходить до елемента знищення, та цей елемент викликає появу заявки – завантаженого автомобіля у нижній гілці руху замовлень (рисунок 4.16).

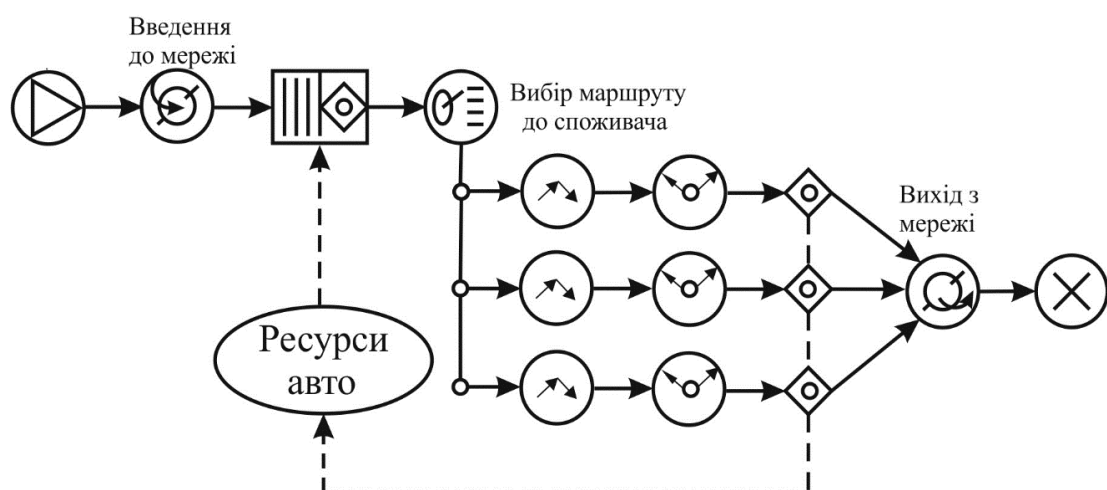


Рисунок 4.16 – Схема руху заявок – завантажених автомобілів

Дана схема може бути реалізована, наприклад, у програмному середовищі Anylogic. Маршрути можуть бути прокладені у реальному масштабі відстаней, а рух автомобілів по них – здійснюватися у реальному масштабі часу.

Після доставки вантажу до споживача, ресурси вивільнюються та можуть бути знову захоплені черговими заявками.

По всіх елементах імітаційної моделі можна збирати та обробляти статистичні дані – час затримки та кількість затриманих заявок та ін.

На прикладі базового підприємства ПАТ «Запоріжсталь» виконані дослідження ефективності використання власного автопарку в умовах ЦХП-1.

Характеристики автотранспортних засобів наведено у таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Характеристика автотранспортних засобів власного парку комбінату Запоріжсталь

Марка і модель автомобіля	Вантажопід- йомність, кг	Базова норма витрати палива, л/100 км
Автомобіль КамАЗ-5320	8000	23,0
Автомобіль МАЗ-5337	8500	23,0
Автомобіль КамАЗ-53212	10000	24,4
Автомобіль МАЗ-630308	13200	24,3
Автопоїзд тягач КамАЗ-5410 + напівпричіп СЗАП-9340	14100	32,0
Автопоїзд тягач МАЗ-54323 + напівпричіп МАЗ-938662	18600	31,0
Автопоїзд тягач МАЗ-5432 + напівпричіп МТМ-9337	20100	27,2
Автопоїзд тягач КамАЗ-54115 + напівпричіп СЗАП-9327	21000	35,5
Автопоїзд тягач МАЗ-544008 + напівпричіп МАЗ-9758	22600	33,5
Автопоїзд тягач МАЗ-64229 + напівпричіп МАЗ-93866	25200	41,1

Параметри роботи моделі можна контролювати за допомогою діаграм (рисунок 4.17).

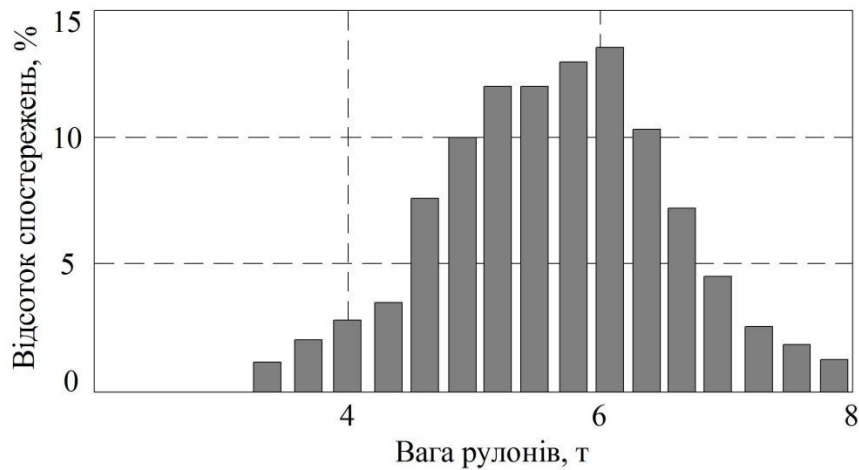


Рисунок 4.17 – Діаграма розподілу ваги рулонів ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь», які відправлено автомобільним транспортом (нормальний усічений закон розподілу)

Враховуючи можливість відвантаження рулонів подвійної маси, використання методу імітаційного моделювання є доцільним через його універсальність, оскільки генерація заявок можлива лише за табличним методом.

В результаті моделювання отримано наступні результати (таблиця 4.9, рисунок 4.18).

Таблиця 4.9 – Результати експериментів на імітаційній моделі

№ експерименту	Вантажопідйомність автомобіля, т	Коефіцієнт використання вантажопідйомності
1	2	3
1	8000	0,625
2	8500	0,588
3	10000	0,600
4	13200	0,758

Продовження таблиці 4.9

1	2	3
5	14100	0,780
6	18600	0,860
7	20100	0,846
8	21000	0,810
9	22600	0,841
10	25200	0,873

З аналізу отриманих результатів можна зробити висновок щодо отримання найкращих результатів коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів для значень їх вантажопідйомності, наближеної до 2-3 кратної середньої ваги рулонів.

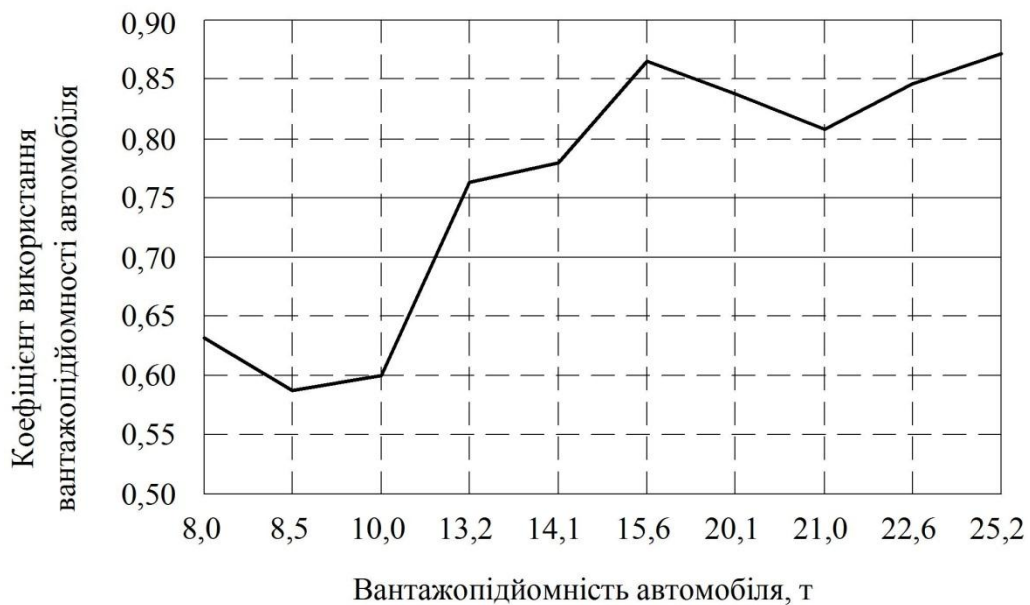


Рисунок 4.18 – Графік залежності коефіцієнту використання вантажопідйомності від фактичної вантажопідйомності автомобілів в умовах відправлення одинарних рулонів ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Аналіз результатів моделювання показав, що при збільшенні вантажопідйомності автомобілів підвищується і коефіцієнт її використання з



0,625 до 0,897 (рис. 4.18) та підвищується ефективність доставки металопрокату.

Запропонована модель може бути корисною при визначення ефективності перевезень в залежності від маршрутів доставки вантажів, оскільки на показники ефективності впливають додаткові фактори, зокрема:

- тривалість обороту транспортного засобу на маршруті;
- тип маршруту та коефіцієнт використання автомобілів за маршрутом;
- тривалість вантажних операцій тощо.

Слід відмітити, що формування партій вантажу при крупнопартійних відправленнях (особливо, при використанні залізничного транспорту – розділ 3.3) за рахунок можливості перебирання більшої кількості варіантів, є більш ефективним.

#### **4.4 Висновки по розділу 4**

1. Розроблено імітаційну модель роботи лінійного фронту навантаження вагонів мостовими кранами, яка дозволяє аналізувати показники ефективності різних варіантів закріплення навантажувальних засобів за зонами обслуговування. На основі імітаційної моделі розроблено процедуру визначення найбільш ефективного управління роботою вантажного фронту залізничного транспорту.

Проведені експериментальні дослідження роботи фронту навантаження металопродукції у вагони із застосуванням імітаційного моделювання дозволили визначити найбільш ефективну схему обслуговування мостовими кранами. Розроблена модель дозволяє підвищити ефективність управління за рахунок скорочення часу простою вагонів в середньому на 30% (з 14,4 год. до 9,8 год. на партію, що навантажується) та знизити загальні витрати в процесі відвантаження металопрокату у залізничні вагони.

2. Для підвищення ефективності технології відвантаження металопрокату автомобільним транспортом, не руйнуючі існуючу технологію відвантаження продукції залізничним транспортом, запропоновані технологічні зміни щодо облаштування пунктів навантаження на всіх автомобільних в'їздах до прокатних цехів. Також на більшості залізничних в'їздів відпрацьована технологія навантаження автотранспорту на ділянці колії, яка простягається від воріт вглиб цеху на 20-60 м, що дозволяє здійснювати навантаження від 1 до 3 автотранспортних засобів.

В реальних умовах для доставки заявленого металопрокату використовується автотранспорт різної вантажопідйомності, а попередня комплектація замовлень для великої кількості відносно дрібних споживачів неможлива через обмеженість території складів продукції.

За таких умов, із урахуванням стохастичного характеру ваги окремих вантажних місць, розроблена методика імітаційного моделювання процесу навантаження на автомобільний транспорт. За допомогою цієї моделі досліджено та удосконалено процес навантаження, що дозволило оцінити ефективність використання автотранспорту різних марок та типів.

Розроблена на основі проведених досліджень методика пройшла апробацію на ПАТ «Запоріжсталь». За рахунок збільшення коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів з 0,625 до 0,873 підвищено ефективність доставки. При чому, зі зростанням вантажопідйомності автомобілів спостерігається тенденція до підвищення коефіцієнту її використання.

## ВИСНОВКИ

Основні результати досліджень дозволили зробити такі висновки:

1. Виконаний аналіз функціонування мікрологістичної системи прокатного цеху металургійного підприємства показав, що перевезення вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції потребують удосконалення транспортних технологій на етапі формування вантажних відправлень. В загальному логістичному ланцюзі виділено та досліджено роботу МЛС ВГП металургійного підприємства, що дозволило визначити стратегію управління системою в умовах постійного удосконалення транспортних засобів, схем навантаження, технології виробництва та виконання вантажних і транспортно-складських робіт.

2. Формалізація структури МЛС ВГП в ланці логістичного ланцюга дозволила визначити зовнішні та внутрішні групи факторів: «технологія виробництва», «складська переробка», «вимоги до навантаження», які впливають на її функціонування.

Визначені основні параметри системи МЛС ВГП: коефіцієнт використання вантажопідйомності транспортних засобів, кількість відправлень з використанням багатооборотних засобів кріплення вантажу, тривалість відвантаження продукції у транспортні засоби зі складу. Шляхом управління цими параметрами досягається оптимізація цільової функції та підвищення ефективності функціонування МЛС ВГП. Визначений основний критерій оптимізації формування вантажних відправлень – мінімізація загальних логістичних витрат.

Розроблено методику (на основі методу Парето) складування металопрокату у послідовно розташованих від вантажного фронту зонах А, В, С та обґрунтовано співвідношення площ цих зон до загальної площі ділянки відвантаження 60%, 30% та 10% відповідно, чим забезпечується скорочення терміну навантаження транспортних засобів.

3. Розроблений метод оптимального формування вагонних відправлень при завантаженні металопрокату у вагони дозволяє збільшити кількість вантажу у вагоні в середньому на 3,71 тони та підвищити коефіцієнт використання вантажопідйомності з 0,86 до 0,91. При цьому для перевезення однакового обсягу вантажу зменшується потрібна кількість вагонів та сума витрат на перевезення. За результатами експерименту, який пройшов апробацію в ЦХП-1 базового підприємства ПАТ «Запоріжсталь», отримана економія в розмірі 42,5 тис. грн, що підтверджено актом впровадження.

4. Для удосконалення організації та планування роботи транспортно-складської системи промислового підприємства розроблено імітаційну модель доставки вантажів з використанням БОЗК та новий метод визначення їхньої кількості при організації процесу доставки металопродукції, який ґрунтується на логістичному підході, методах статистичного аналізу та імітаційного моделювання. Розроблений метод дозволяє у порівнянні з існуючими методами встановити їх оптимальну кількість та за рахунок цього зменшити витрати на доставку металопрокату на 1,7%.

5. Проведені експериментальні дослідження роботи фронту навантаження металопродукції у вагони із застосуванням імітаційного моделювання дозволили визначити найбільш ефективну схему обслуговування мостовими кранами. Розроблена модель дозволяє підвищити ефективність управління за рахунок скорочення часу простою вагонів в середньому на 30% (з 14,4 год. до 9,8 год. на партію, що навантажується) та знизити загальні витрати в процесі відвантаження металопрокату у залізничні вагони.

Для підвищення ефективності технології відвантаження металопрокату автомобільним транспортом запропоновані технологічні зміни в організації функціонування пунктів навантаження на автомобільних в'їздах до прокатних цехів. Розроблена імітаційна модель, яка враховує стохастичний характер ваги окремих вантажних місць, що надаються до перевезення. За допомогою цієї моделі досліджено та удосконалено процес навантаження, що дозволило оцінити ефективність використання автотранспорту різних марок та типів.

Розроблена на основі проведених досліджень методика пройшла апробацію на ПАТ «Запоріжсталь». За рахунок збільшення коефіцієнту використання вантажопідйомності автомобілів з 0,625 до 0,897 підвищено ефективність доставки.

6. Розроблені методи дозволяють удосконалити процес формування вантажних відправлень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції за узагальнюючим критерієм мінімальних загальних логістичних витрат, а не лише технічних показників ефективності, та підвищити ефективність функціонування МЛС ВГП.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Метс А. Ф. Организация и планирование предприятий черной металлургии / А. Ф. Метс, К.А. Штец, Б. П. Бельгольский, Ф.И. Щепилов. – М.: Металлургия, 1986. – 560 с.
2. Хорольский Д. Ю. Справочник по металлопрокату / Д. Ю. Хорольский. – Харьков : Металлика, 2005. – 834 с.
3. Минаев А. А. Металлопродукция : сертификация, маркировка, упаковка : учебное пособие / А. А. Минаев, А. Н. Смирнов, И. В. Лейрих. – Донецк : Норд-Пресс, 2006. – 291 с.
4. Грудев А. П. Технология прокатного производства : учебник для вузов / А. П. Грудев, Л. Ф. Машкин, М. И. Ханин. – М. : Металлургия, 1994. – 656 с.
5. Баландюк Г. С. Технология работы железнодорожного транспорта металлургических заводов : учебное пособие / Г. С. Баландюк, Я. М. Куртуков. – М. : Металлургия, 1985. – 255 с.
6. Угрюмов А. К. Организация движения поездов на промышленном железнодорожном транспорте : учебник для техн. школ / А. К. Угрюмов, А. П. Романов, З. Л. Мирошниченко. – М. : Транспорт, 1981. – 232 с.
7. Болотин В. А. Крепление грузов на открытом подвижном составе для перевозки при высоких скоростях движения : дис. ... канд. техн. наук / В. А. Болотин. – Л. : ЛИИЖТ, 1983. – 167 с.
8. Волков Д. В. Особенности крепления груза со смещенным центром тяжести вдоль вагона : дис. ... канд. техн. наук / Д. В. Волков. – Екатеринбург, 2012. – 201 с.
9. Грузоведение, сохранность и крепление грузов / А. А. Смехов, А. Д. Малов, А. М. Островский и др.; Под ред. А. А. Смехова. – М. : Транспорт, 1987. – 239 с.
10. Демянкова Т. В. Размещение и крепление грузов, перевозимых на открытом подвижном составе : Практическое пособие / Т. В. Демянкова,

- Н. Е. Лысенко, В. М. Новиков. – М.: МИИТ, 2006. – 60 с.
11. Коровяковский Е. А. Методические основы размещения и крепления грузов с плоской опорой на подвижном составе железных дорог : дис. ... канд. техн. наук / Е. А. Коровяковский. – СПб., 2003. – 204 с.
  12. Нечаев Г. І. Організація перевезень вантажів на відкритому рухомому складі : навч. посібник / Г. І. Нечаєв ; Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. – Луганськ : Вид-во СНУ ім.В. Даля, 2002. - 84 с.
  13. Нечаев Г. И. Управление грузовой и коммерческой работой и грузование / Г. И. Нечаев, Г. Ф. Бабушкин. – Луганск : Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2002. – 568 с.
  14. Перепон В. П. Организация перевозок грузов : Учебник для техникумов и колледжей ж.-д. трансп / В. П. Перепон. – М. : Маршрут, 2003. – 614 с.
  15. Перепон В. П. Грузовая и коммерческая работа (Организация и управление) : Учебник для техникумов ж.-д. трансп. / В. П. Перепон, П.В.Поликарпочкин. – М. : Транспорт, 1986. – 351 с.
  16. Псеровская Е. Д. Совершенствование способов перевозки и методов расчета крепления грузов с плоским основанием на открытом подвижном составе : дис. ... канд. техн. наук / Е. Д. Псеровская. – Новосибирск, 2000. – 185 с.
  17. Коровяковский Е. К. Методические основы размещения и крепления грузов с плоской опорой на подвижном составе железных дорог : дис. ... канд. техн. наук / Е. К. Коровяковский. – Санкт-Петербург, 2003. – 204 с.
  18. Размещение и крепление грузов в вагонах: справочник / А. Д. Малов и др.; отв. ред. А. Д. Малов. – М. : Транспорт, 1980. – 328 с.
  19. Семенов В. М. Коммерческая и грузовая работа на железнодорожном транспорте : Учебник / В. М. Семенов, М. Н. Кустов, И. И. Тертеров и др.; Под общ. ред. В. М. Семенова, И. И. Тертерова. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 1995. – 262 с.
  20. Совершенствование способов размещения и крепления грузов в вагонах / А. Д. Малов, С. С. Чинарев, Э. И. Хаит; под общ. ред. А. Д. Малова. – М. :

- Транспорт, 1970. – 137 с.
21. Туранов Х. Т. Крепления грузов в вагонах : Учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Х. Т. Туранов, А. Н. Бондаренко, Н. В. Власова; Под ред. Х.Т. Туранова. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2006. – 321 с.
  22. Туранов Х.Т. Размещение и крепление грузов в вагонах: учебное пособие для студентов железнодорожного транспорта / Х. Т. Туранов. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2007. – 365 с.
  23. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте / А. А. Смехов, В. В. Повороженко, А. Т. Дерibas и др.; Под ред. А. А. Смехова. – М. : Транспорт, 1990. – 352 с.
  24. Котенко А. Н. Обеспечение надежности погрузки и крепления грузов / А. Н. Котенко // Железнодорожный транспорт. – 1994. – № 2. – С. 15-17.
  25. Котенко А. Н. Обеспечение правильной погрузки и крепления грузов / А. Н. Котенко // Железнодорожный транспорт. – 1992. – № 3. – С. 18-21.
  26. Технические условия погрузки и крепления грузов. – М.: Транспорт, 1988. – 408 с.
  27. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М. : Юридическая фирма «Юртранс», 2003. – 544 с.
  28. Полезная модель № 117866 Россия, МПК В 65 D 5/36. Захват-кантователь для рулонов листовой стали / Гареев С. Р., Песин А. М., Рахимов С. Н., Савицкий Л. А., Левашова Е. В., Шебаршова И. М.; заявитель и владелец модели ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат»; заявл. 01.07.1993; опубл. 27.11.1997 : веб-сайт. URL : [http:// poleznayamodel.ru/](http://poleznayamodel.ru/).
  29. Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 18 травня 2010 року № 299 Про затвердження Порядку розроблення технічної документації щодо розміщення і кріплення вантажів у вагонах і контейнерах, які перевозяться залізничним транспортом : веб-сайт. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0503-10#Text>.
  30. Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов и



- вагонов в контейнерах». – М. : Планета, 2008. – 191 с.
31. Збірник № 28 Правил перевезень і тарифів залізничного транспорту України : вид. на підставі ст. 5 Статуту залізниць України та ст. 37 «Соглашения о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС)» / Мінтранс та зв'язку України. Держ. адмін. заліз. транспорту України. Укрзалізниця. – К. : Інпрес, 2010. – 80 с.
  32. ГОСТ 22235-2010 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ. – Введ. 2011-04-30. – Дата актуализации 2013-08-01. – Дата издания 2011-05-05. – 24 с. – : веб-сайт. URL : <http://vsegost.com/Catalog>.
  33. Туранов Х. Т. Некоторые проблемы размещения грузов на вагоне / Х. Т. Туранов, Е. Д. Псеровская // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 1. С. 153 - 158.
  34. Туранов Х. Т. Теоретическая механика в задачах грузовых перевозок : монография / Х. Т. Туранов. – Новосибирск : Наука, 2009. – 376 с.
  35. Тимухина Е. Н. Математическое моделирование нагруженности колесной пары вагона с несимметрично размещенным грузом при взаимодействии пространственной системы сил / Е. Н. Тимухина, А. Р. Якупов // Транспорт : Наука, техника и управление. – 2011. – № 7. – С.15-19.
  36. Туранов Х. Т. Взаимодействие открытого подвижного состава и твердотельного груза : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Х. Т. Туранов. – М. : ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 374 с.
  37. Туранов Х. Т. Математическое моделирование сдвига груза при движении подвижного состава по кривому участку пути с учетом воздействия пространственной системы сил, включая силы инерции Кориолиса / Х. Т. Туранов, Е. Н. Тимухина // Транспорт : Наука, техника и управление. – 2011. – № 3. – С.28-32.

38. Пат. № 2097304 Россия, МПК В 66 С 1/44. Захват-кантователь для рулонов листовой стали / Иванов Ю. Д., Кольцов В. П., Фришман С. И., Соколов Л. И., Байнин В. И., Алексеева Т. Ф.; заявитель и патентовладелец Акционерное общество открытого типа Северсталь; заявл. 01.07.1993; опубл. 27.11.1997 : веб-сайт. URL : <http://findpatent.ru/patent/209/2097304>.
39. Авдеев В. А. Основы проектирования металлургических заводов : Справочник / В. А. Андреев, В. М. Друян, Б. И. Кудрин. – М.: Интермет Инжиниринг, 2002. – 464 с.
40. Михайловский В. Н. Основы проектирования металлургических заводов. Определение объёмно-планировочных решений, состава и количества основного технологического и подъёмно-транспортного оборудования сталеплавильных цехов: учебное пособие / В. Н. Михайловский, П. В. Ковалев. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 215 с.
41. Федосов Н. М. Проектирование прокатных цехов : Учебное пособие для вузов / Н. М. Федосов, В. Н. Бринза, И. Г. Астахов. – М.: Металлургия, 1983. – 303 с.
42. НПАОП 27.1-1.04-97 (ДНАОП 1.2.10-1.04-97) Правила безопасности в прокатном производстве – 42 с. – Введ. 1997-02-19 : веб-сайт. URL : <http://dnop.com.ua/dnaop/act5381.htm>.
43. Богинский К. С. Мостовые и металлургические краны / К. С. Богинский, Ф. С. Зотов, Г. М. Николаевский. – М. : Машиностроение, 1970. – 300 с.
44. Петухов П. З. Специальные краны : Учебное пособие для машиностроительных вузов по специальности « Подъемно-транспортные машины и оборудование» / П. З. Петухов, Г. П. Ксюнин, Л. Г. Серлин. – М.: Машиностроение, 1985. – 248 с.
45. Михеев В. А. Специальные краны : Учебник / В. А. Михеев, В. А. Власов. – Мариуполь : ПГТУ, 2004. – 424 с.
46. Никитин К. Д. Специальные металлургические краны : Учебное пособие / К. Д. Никитин, В. Г. Марьясов, А. Ю. Смолин. – Красноярск : Издательство Красноярского университета, 1989. – 232 с.

47. Никитин К. Д. Мостовые металлургические краны/ К. Д. Никитин, А. Ю. Смолин. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2005. – 200 с.
48. Кружнов В. А. Металлургические подъемно-транспортные машины / В. А. Кружнов. – М. : Металлургия, 1989. – 464 с.
49. Сезапканат : Кантователи: веб-сайт. URL : [http:// sevzapkanat.com](http://sevzapkanat.com).
50. Производственно инжиниринговая компания ENCE GmbH : Оборудование для металлургии : веб-сайт. URL : [https://ence.ch/ru/equipment/equipment\\_for\\_metallurgy](https://ence.ch/ru/equipment/equipment_for_metallurgy).
51. Пат. № 2097304 Россия, МПК В 66 С 1/44. Захват-кантователь для рулонов листовой стали / Иванов Ю. Д., Кольцов В. П., Фришман С. И., Соколов Л. И., Байнин В. И., Алексеева Т. Ф.; заявитель и патентовладелец Акционерное общество открытого типа Северсталь; заявл. 01.07.1993; опубл. 27.11.1997 : веб-сайт. URL:<http://findpatent.ru/patent/209/2097304.html>.
52. ПАО «Бердянський завод підъемно-транспортного обладнання» : веб-сайт. URL:[http:// bzpto.com.ua](http://bzpto.com.ua).
53. Пашков В. Г. Подъемно-транспортные машины : Курс лекций / В. Г. Пашков, И. А. Рагулин. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 212 с.
54. Вайнсон А. А. Крановые грузозахватные устройства : Справочник / А. А. Вайнсон, А. Ф. Андреев. – М. : Машиностроение, 1982. – 304 с.
55. Игумнов С. Г. Стропальщик : Грузоподъемные краны и грузозахватные приспособления / С. Г. Игумнов. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 52 с.
56. Парунакян В. Э. Транспортное обслуживание металлургического производства : учеб. пособие для студ. спец. «Организация перевозок и управление на транспорте (промышленном)» / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак ; М-во образования и науки Украины, Приаз. гос. техн. ун-т. – Мариуполь : ПГТУ, 2015. – 208 с.
57. Маслак А. В. Транспорт в производственном процессе предприятий : учебник / А. В. Маслак, В. Э. Парунакян, Е. И. Сизова. – Мариуполь :

- ПГТУ, 2017. – 240 с.
58. Маслак А. В. Метод эффективной оценки эксплуатационных показателей транспортных технологий при обслуживании прокатного производства / А. В. Маслак // Университетская наука-2016 : в 4 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 19-20 мая 2016 г.) / ПГТУ. – Мариуполь, 2016. – Т. 2. – С. 216–217.
  59. Линник Г. А. Повышение эффективности транспортного обслуживания прокатных цехов металлургического предприятия / Г. А. Линник // Университетская наука-2016 : в 4 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 19-20 мая 2016 г.) / ПГТУ. – Мариуполь, 2016. – Т. 2. – С. 223–224.
  60. Линник Г. А. Анализ эксплуатационных показателей и пути повышения эффективности транспортного обслуживания прокатных цехов металлургических предприятий / Г. А. Линник // Университетская наука - 2017 : в 3 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 18-19 мая 2017 г.) / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2017. – Т. 2. – С. 128–129.
  61. Парунакян В. Э. Повышение эффективности взаимодействия производства и транспорта в процессе материалодвижения металлургических предприятий / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2017. – Вип. 35. – С. 237–244.
  62. Маслак А. В. Анализ эксплуатационных показателей и пути повышения эффективности транспортного обслуживания прокатных цехов металлургических предприятий / А. В. Маслак, Г. А. Линник // Вісн. Приазов. держ. техн. ун-ту. Сер. Техн. науки. – 2016. – Вип. 32. – С. 215-221.
  63. Парунакян В. Э. Идентификация процессных характеристик логистической цепи в транспортно-грузовом комплексе отгрузки металлопродукции. Ч. 1 / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак, Е. И. Сизова // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь,

2007. – Вип. 17. – С. 198–203.
64. Маслак А. В. Методика организации взаимодействия прокатных цехов и транспорта при отгрузке продукции железнодорожным транспортом / А. В. Маслак // Университетская наука - 2010 : в 3 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Мариуполь, 18-20 мая 2010 г.) / ПГТУ. – Мариуполь, 2010. – Т. 3. – С. 148–149..
  65. Маслак А. В. К вопросу обеспечения эффективного функционирования транспортно-грузовых комплексов металлургических предприятий / А. В. Маслак // Захист металургійних машин від поломок: зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2011. – Вип. 13. – С. 85-89.
  66. ДСТУ 3058-95 (ГОСТ 7566-94) «Металлопродукция. Приемка, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. Межгосударственный стандарт». – Введ. 1998-01-01. – Дата издания 2005-09-01 (с изменениями). – 20 с. : веб-сайт. URL / <http://vsegost.com/Catalog>.
  67. ТИ 226-ОБЗ-13-2014 «Упаковка листов и рулонов. Технологическая инструкция». – Запорожье : ПАТ Запорожсталь, 2017. – 47 с.
  68. Европак : упаковка и маркировка металлопродукции : веб-сайт. URL:<http://euro-pack.com>.
  69. Металлургприбор : защитная упаковка : веб-сайт. URL:<http://metallurgpribor.com>.
  70. Маслак А. В. Особенности функционирования промышленного железнодорожного транспорта в условиях роста динамики производственного процесса / А. В. Маслак // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2013. – Вип. 9. – Ч. 1. – С. 94-98.
  71. Логистика : Учебное пособие / Под ред. Аникина Б. А. – М. : ИНФРА-М, 2009. – 327 с.
  72. Беляев Ю. А. Дефицит, рынок и управление запасами / Ю. А. Беляев. – М. : Ун-т дружбы народов, 1991. – 228 с.
  73. Голдобина Н. Н. Управление запасами средств производства: учеб.

- пособие / Н. Н. Голдобина. – Л. : ЛФЭИ, 1991. – 71 с.
74. Голенко Д. И. Моделирование в технико-экономических системах : управление запасами / Д. И. Голенко. – Л. : ЛГУ, 1975. – 197 с.
75. Кудрявцев Б. М. Модели управления запасами / Б. М. Кудрявцев, Ю.А. Беляев, Н. Н. Голдобина. – М. : Ин-т управления им. С. Орджоникидзе, 2007. – 52 с.
76. Рыжиков Ю. И. Теория очередей и управление запасами : учебное пособие / Ю. И. Рыжиков. – СПб. : Питер, 2001. – 384 с.
77. Лукинский В. В. Теория и методология управления запасами в цепях поставок : дис. ... доктора эконом. наук : 08.00.05 / Лукинский Владислав Валерьевич. – Санкт-Петербург, 2008. – 291 с.
78. Маслак Г. В. Підвищення ефективності взаємодії виробництва і транспорту при відвантаженні готової продукції металургійних підприємств : дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.12 / Маслак Ганна Вікторівна. – Маріуполь, 2009. – 162 с.
79. Маслак Г. В. Загальна модель вантажно-транспортного процесу логістичного ланцюга відвантаження продукції металургійних підприємств / Г. В. Маслак // Университетская наука-2011 : в 3 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (Маріуполь, 17-19 мая 2011 г.) / ПГТУ. – Маріуполь, 2011. – Т. 3. – С. 110–111.
80. Маслак Г. В. Принципи побудови логістичної системи відвантаження готової продукції в умовах кризи та управління ризиком на залізничному транспорті / Г. В. Маслак // Університетська наука – 2019 : тези доп. Міжнар. науково-техн. конф. (Маріуполь, 16-17 травня 2019 р.) : в 4 т. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Т. 3. – С. 14–15.
81. Маслак Г. В. Шляхи підвищення ефективності управління процесом матеріалоруку при переробці зовнішнього вагонопотоку металургійного підприємства / Г. В. Маслак // Університетська наука – 2019 : тези доп. Міжнар. науково-техн. конф. (Маріуполь, 16-17 травня 2019 р.) : в 4 т. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2019. – Т. 3. – С. 23–25.

82. Файнштейн С. И. Оперативное планирование движения готовой продукции на складах металлургических предприятий / Файнштейн С. И., Тутарова В. Д., Калитаев А. Н., Букреев А. Ю., Колесников Е. Ф. // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова : Сб. научн. тр. – Магнитогорск. – 2007. – Вып. 4. – С. 108-112.
83. Алгоритм оперативного планирования погрузки металла в печи листопрокатного стана / Каплан Д. С., Девятов Д. Х., Белявский А. Б., Файнштейн С. И., Торчинский В. Е. // Сталь. – 2007. – № 2. – С. 130-133.
84. Рахмангулов А. Н. Разработка методики транспортного обслуживания предприятий на основе оптимизации взаимодействия сортировочных комплексов промышленного и магистрального железнодорожного транспорта : дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.08 / Рахмангулов Александр Нельевич. – Москва, 1996. – 220 с.
85. Рахмангулов А. Н. Методологические основы организации функционирования промышленных железнодорожных транспортно-технологических систем : дис. ... доктора техн. наук : 05.22.01 / Рахмангулов Александр Нельевич. – Москва, 2013. – 373 с.
86. Гавришев С. Е. Транспортная логистика : учеб. пособие / Гавришев С. Е., Рахмангулов А. Н., Трофимов С. В. и др. – Магнитогорск : МГТУ им. Г. И. Носова, 2000. – 372 с.
87. Лукьянов В. А. Методика оптимизации взаимодействия промышленного транспорта и основных производств предприятий черной металлургии : дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.01 / Лукьянов Вадим Александрович. – Санкт-Петербург, 2003. – 154 с.
88. Аксенов М. Л. Комплексная модель системы транспортного обслуживания металлургического предприятия / М. Л. Аксенов // Вестник Приазовского гос. техн. ун-та : Сб. научн. тр. – Мариуполь, 2012. – Вып. 25. – С. 252-259.
89. Парунакян В. Э. Идентификация внешних вагонопотоков металлургических предприятий / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак, М. Л. Аксенов // Вестник Приазовского гос. техн. ун-та : Сб. научн. тр. –

- Мариуполь, 2012. – Вып. 24. – С. 295-303.
90. Чернецька-Білецька Н. Б. Аналіз шляхів удосконалення системи організації вагонопотоків / Н. Б. Чернецька-Білецька, О. В. Шепітько, А. В. Рябчиков // Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2015. – № 1. – С. 185-188.
  91. Губенко В. К. Логистика : Учебное пособие / В. К. Губенко. – Мариуполь : ПГТУ, 1996. – 242 с.
  92. Логистические транспортно-грузовые системы / В. И. Атапцев, С. Б. Левин, В. М. Николашин и др.; под ред. В. М. Николашина. – М. : Академия, 2003. – 304 с.
  93. Смехов А. А. Введение в логистику / А. А. Смехов. – М. : Транспорт, 1993. – 112 с.
  94. Головіна Ю. О. Проблеми логістики та шляхи їх вирішення в Україні / Ю. О. Головіна, Н. Б. Чернецька-Білецька // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2018. – № 1. – С. 30-34.
  95. Сергеев В. И. Логистика в бизнесе : Учебник / В. И. Сергеев. – М. : ИНФРА-М, 2001. – 608 с.
  96. Локтионова О. Е. Организационные основы формирования производственно-транспортных логистических систем / О. Е. Локтионова, М. В. Помазков // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2004. – Вип. 14. – С. 408-410.
  97. Парунакян В. Э. Логистический подход к транспортному обслуживанию производственных цехов металлургических предприятий при отгрузке готовой продукции / В. Э. Парунакян, А. В. Головченко // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2004. – Вип. 14. – С. 315-318.
  98. Парунакян В. Э. Логистическое управление транспортно-грузовыми комплексами металлургических предприятий / В. Э. Парунакян, Ю. В. Гусев // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ.



- Маріуполь, 2005. – Вип. 15, ч. 1. – С. 177-182.
99. Парунакян В. Э. К вопросу формирования логистических цепей в транспортно-грузовых системах металлургических предприятий / В. Э. Парунакян, Ю. В. Гусев, В. И. Сизова // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2006. – Вип. 16. – С. 220-226
100. Парунакян В. Э. Идентификация процессных характеристик логистической цепи в транспортно-грузовом комплексе отгрузки металлопродукции. Ч. 1 / В. Э. Парунакян, А. В. Маслак, Е. И. Сизова // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2007. – Вип. 17. – С. 198-203.
101. Парунакян В. Э. Идентификация процессных характеристик логистической цепи в транспортно-грузовом комплексе отгрузки металлопродукции. Часть 2 / В.Э. Парунакян, А.В. Маслак, Е.И. Сизова // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2008. – Вип. 18, Ч. 1. – С. 207-213.
102. Парунакян В. Э. Оптимизация взаимодействия потоковых процессов в логистических транспортно-грузовых комплексах предприятий / В.Э. Парунакян, Е.И. Сизова // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту : зб. наук. праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2009. – Вип. 19. – С. 251-255.
103. Васильева Н. Ф. О возможности применения классической модели оптимального размера заказа для управления запасами в черной металлургии / Н. Ф. Васильева // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова : Сб. научн. тр. – Магнитогорск 2013. – Вып. 3. – С. 106-109.
104. Модели и методы теории логистики : Учебное пособие / Под ред. В. С. Лукинского. – СПб. : Питер, 2008. – 448 с.
105. Васильева Л. О. Удосконалення технології доставки продукції металургійного підприємства / Л. О. Васильева, С. М. Турпак, Д. П. Мирончак // Транспортні системи та технології: проблеми та перспективи розвитку: наук.- практ. конф., 12 квітня 2018 р.: тези доп. / Редкол.: С.М. Турпак (відпов. ред.) Електрон. дані. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – С. 33-34.
106. Turpak, S. Improvement of a system controlling a process of railcars unloading

- in the context of changes in temperature mode while operating / S. Turpak, I. Taran, O. Ostrohlyad // *Radio Electronics, Computer Science, Control*. – 2018. – No. 1. – P. 183-191.
107. Shramenko N. Y. Effect of process-dependent parameters of the handling-and-storage facility operation on the cargo handling cost / N. Y. Shramenko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2015. No. 5/3 (77). – P. 43-47.
108. Prokudin G. Application of Information Technologies for the Optimization of Itinerary when Delivering Cargo by Automobile Transport / O. Prokudin, O. Chupaylenko, O. Dudnik, A. Dudnik, V. Svatko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – No. 2/3 (92). – P. 51-59.
109. Ballou R.N. *Business Logistics Management* / R.N. Ballou. – Prentice-Hall International, Inc., 1993. – 132 P.
110. Турпак С.Н. Организация отгрузки готовой продукции металлургических предприятий железнодорожным транспортом / С.М. Турпак // *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. – 2004. – № 7 (77). – С.38-41.
111. 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*. – 2009. – № 1. – С. 338-341.
112. Lashenyh A. Development of mathematical models for planning the duration of shunting operations / A. Lashenyh, S.Turpak, S. Gritcay, L. Vasileva, E. Ostrohlyad // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – No. 5/3 (83). – P. 40-46.
113. Мищерский И. А. Анализ общих логистических затрат / И. А. Мещерский // *Молодой ученый*. – 2011. – № 6. Т.1. – С. 160-163 : веб-сайт. URL <https://moluch.ru/archive/29/3347>.
114. Бабушкін Г. Ф. Імітаційне моделювання масових перевезень готової продукції металургійних підприємств автомобільним транспортом / Г. Ф.

- Бабушкін С. М. Турпак, С. В. Грицай, Л. А. Васильєва // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2014. – №3. – С. 123-125.
115. Турпак С. М. Удосконалення логістики доставки металопродукції оптимальним формуванням вагонних відправлень / С. М. Турпак, С. В. Грицай, Л. О. Васильєва // *Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні*. – 2014. – №2. – С. 131-137.
116. Turpak S.M. Logistic technology to deliver raw material for metallurgical production. S.M. Turpak, I.O. Taran, O.V. Fomin, O.O. Tretiak. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018, Issue 1, p.162-169.
117. Гельманова З. С. Логистическая концепция организации производства / З. С. Гельманова, М. К. Ибатов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. – 2016. – № 10. – С. 299-304.
118. Козаченко Д. Н. Исследование потребности в вагонном парке для обеспечения перевозок массовых грузов по расписанию / Д. Н. Козаченко // *Збірник наукових праць ДонІЗТ*. – 2013. – № 35. – С. 11-16.
119. Хлевной И. И. Грузовые перевозки / И. И. Хлевной. – СПб.: СПБ ИВЭСЭП, 2005. – 130 с.
120. Бекжанова С. Е. Технология и механизация погрузочно-разгрузочных работ на железнодорожном транспорте / С. Е. Бекжанова, Д. С. Бекжанов, З. С. Бекжанов. – Астана: Парасат Этели, 2005. – 220 с.
121. Аникин Б. А. Коммерческая логистика / Б. А. Аникин, А. П. Тяпухин. – М.: Проспект, 2013. – 277 с.
122. Айвазян С. А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности / С. А. Айвазян, В. М. Бухштабер, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 607 с.
123. Калинина В. Н. Введение в многомерный статистический анализ : учебное пособие / В. Н. Калинина, В. И. Соловьев. – М.: ГУУ, 2003. – 66 с.
124. Иберла К. Факторный анализ / К. Иберла ; пер. с нем. В.М. Ивановой. – М. : Статистика, 1980. – 398 с.
125. Устенко М. О. Основні проблеми транспортної логістики / М. О. Устенко //

- Вісник економіки транспорту і промисловості. Харків: УкрДАЗТ. – 2010. – № 29. – С. 236-238.
126. Кузькін О. Ф. Прикладні задачі дослідження операцій в транспортних системах : навч. посіб. для студ. ВНЗ, які навчаються за напрямом підготов. «Транспортні технології» / О. Ф. Кузькін, О. А. Лащених, С. М. Турпак; Запоріз. нац. техн. ун-т. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. – 371 с.
127. Боровиков В.П. STATISTICA. Статистический анализ и обработка данных в среде Windows / В. П. Боровиков, И. П. Боровиков. – М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 1998.– 608 с.
128. Гудков В.А. Основы логистики : учебник для вузов / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, С. А. Ширяев, Д. В. Гудков. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 351 с.
129. Ширяев С.А. Рациональное размещение готовой продукции на складе на основе ABC-анализа / С. А. Ширяев, В. В. Горина, С. А. Кащеев // Известия ВолгГТУ. – 2015. – № 6 (166). – С. 63-65
130. Ширяев С. А. Алгоритм проектирования рациональных зон хранения товаров на складе по их дополнительным параметрам / С. А. Ширяев, В. В. Горина, С. А. Кащеев // Известия ВолгГТУ. Сер. Наземные транспортные системы. Вып. 10 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2015. – № 4 (162). – С. 98-100.
131. Шевчук А.В. Імітаційне моделювання транспортних систем / А.В.Шевчук // International Scientific Journal. – 2016. – № 1. – С. 116-121.
132. Томашевский В. Н. Имитационное моделирование систем и процессов / В. Н. Томашевський. – К. : ІСДО, «ВПОЛ», 1994. – 124 с.
133. Томашевський В. М. Моделювання систем / В. М. Томашевський. – К.: Видавнича група ВНУ, 2005. – 352 с.
134. Лащених О.А. Методи і моделі оптимізації транспортних процесів і систем / О.А. Лащених, О.Ф. Кузькін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2006. – 435 с.
135. Кобелев Н.Б. Основы имитационного моделирования сложных экономических систем: учебное пособие / Н.Б. Кобелев. – М.: Дело, 2003. –

336 с.

136. Кузькін О. Ф. Прикладні задачі дослідження операцій в транспортних системах : навч. посіб. для студ. ВНЗ, які навчаються за напрямом підготов. «Транспортні технології» / О. Ф. Кузькін, О. А. Лащених, С. М. Турпак; Запоріз. нац. техн. ун-т. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2013. – 371 с.
137. Лащених О. А. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних процесів і систем : Навчальний посібник / О. А. Лащених, О. Ф. Кузькін, С. В. Грицай. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011. – 420 с.
138. Шраменко Н. Ю. Вплив технологічних параметрів процесу функціонування транспортно-складського комплексу на собівартість переробки вантажу / Н. Ю. Шраменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2015. – Вип. 5/3 (77). – С. 43–47. doi: 10.15587/17294061.2015.51396
139. Шраменко Н. Ю. Методологія оцінювання синергетичного ефекту при термінальній системі доставки вантажів / Н. Ю.Шраменко / Актуал. пробл. екон. : наук. економ. журнал. – 2016. – № 8 (182). – С. 439–444.
140. Shramenko N. Y. The methodological aspect of the study feasibility of intermodal technology of cargo delivery in international traffic / N. Y. Shramenko // Naukovyi Visnyk NHU. – 2017. – Vol. 4 (160), P. 145–150. Doi: 10.29202/nvngu/2018-5/15.
141. Шраменко Н. Ю. Вплив технологічних параметрів процесу функціонування транспортно-складського комплексу на собівартість переробки вантажу / Н. Ю. Шраменко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2015. – Вип. 5/3 (77). – С. 43–47. Doi: 10.15587/17294061.2015.51396.
142. Турпак С. М. Дослідження мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургійного підприємства / С. М. Турпак, Л. О. Васильєва О. О. Падченко, Г. О. Лебідь // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія : Технічні науки. – Київ, 2018. – Т. 29 (68). – № 4. – Ч. 2. – С. 156–162.

143. Shramenko N. The Principles of the Choice of Management Decisions Based on Fuzzy Logic for Cargo Delivery of Grain to the Seaport / N. Shramenko, D. Muzylyov, M. Karnaukh / International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7, No. 4.3. – P. 211–216. Doi:10.14419/ijet.v7i4.3.19789.
144. Shramenko N. Y. Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport / N. Y. Shramenko, V. O. Shramenko // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2018. – Vol. 5, No. 167, P. 136–141. Doi: 10.29202/nvngu/2018-5/15.
145. Технологическая карта на погрузочно-разгрузочные работы и складирование грузов кранами. – Запорожье : ОАО «Запорожсталь», 2017. – 121 с.

ДОДАТОК А  
Аналіз інтенсивності відправлення металопродукції на багатооборотних  
засобах кріплення

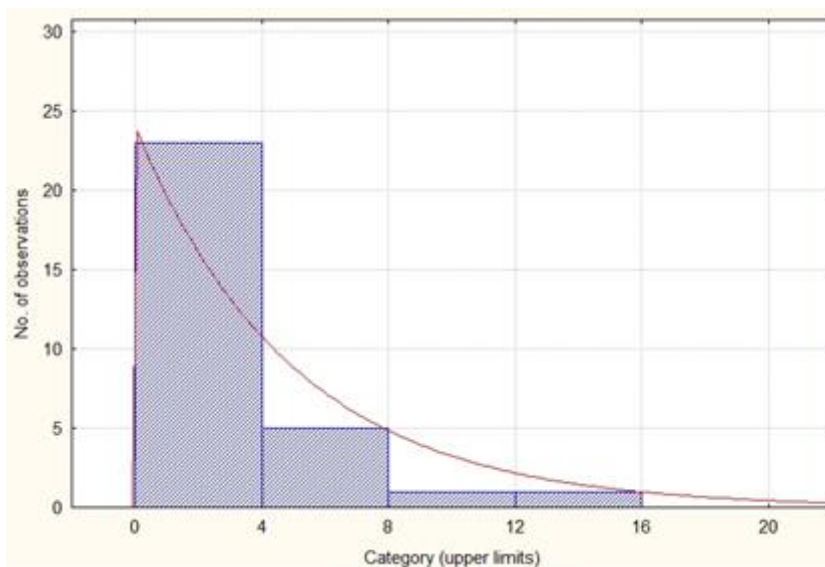


Рисунок А.1 – Аналіз інтенсивності відправлення металопродукату на БОЗК  
до станції Кам'янець Подільський

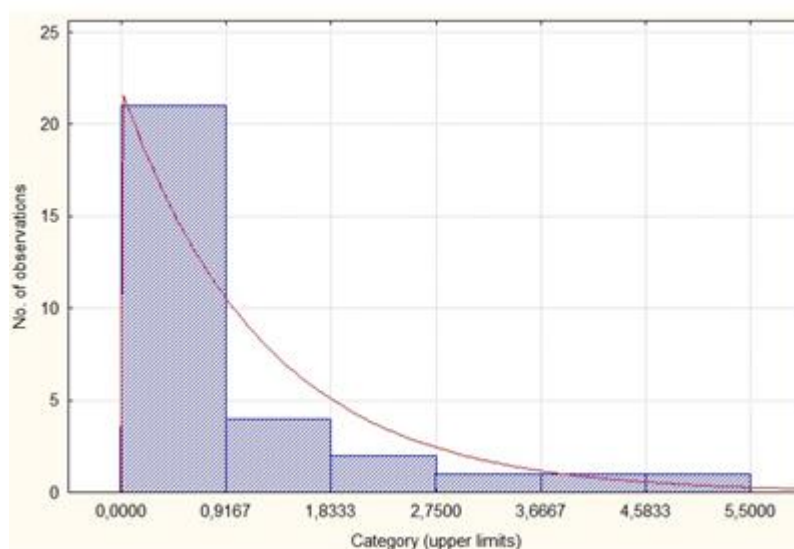


Рисунок А.2 – Аналіз інтенсивності відправлення металопродукату на БОЗК  
до станції Маріуполь Порт

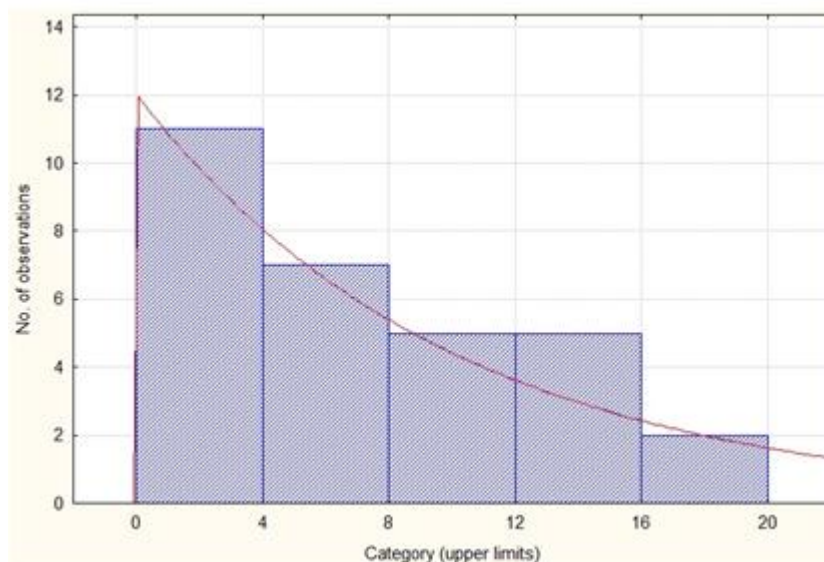


Рисунок А.3 – Аналіз інтенсивності відправлення металопрокату на БОЗК до станції Миколаїв Вантажний

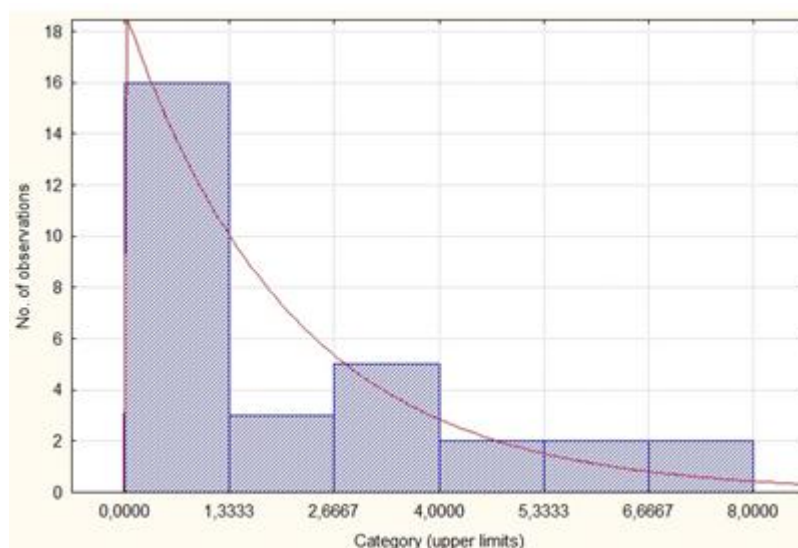


Рисунок А.4 – Аналіз інтенсивності відправлення металопрокату на БОЗК до станції Одеса Порт



## ДОДАТОК Б

### Принцип дії алгоритму для знаходження оптимального варіанту завантаження вагонів

Вихідною вибіркою для формування вагонів є наявні на складі рулони певної марки сталі, розмірів та маси згідно замовлення (стовпчик А). У стовпчиках В та С наведені партія та плавка рулонів. Інтерфейс алгоритму наведений на рис. Б.1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Вес рулона	Партия	Плавка		Сумма	Комбинация				Минимальная выборка	4
2	6,15	2013_17077-1A	004301105							Максимальная выборка	12
3	6,08	2013_23648-0	000223482	формирование загрузки			выделить цветом	удалить из исходной выборки		Количество чисел	180
4	13,00	2013_25690-0	000613581								
5	11,92	2013_26528-A	000133032	Начать			Начать	Начать			
6	13,06	2013_26808-3A	000133292								
7	6,64	2013_26865-0	004301088							Возможных комбинаций	1,786E+18
8	13,38	2013_26869-2	000133305								
9	12,15	2013_26869-3	000133305								
10	12,46	2013_26874-1A	0133109-1								
11	11,86	2013_26880-2	000133305								
12	12,98	2013_26880-5	000133305								
13	13,09	2013_26938-A	000223612								
14	11,46	2013_26966-0	004301107								
15	6,43	2013_27011-4	000133319								
16	6,62	2013_27045-3	000713583								
17	12,49	2013_27045-4	000713583								
18	13,16	2013_27211-0	004300978								
19	6,07	2013_27356-1	004300852								
20	6,20	2013_27382-1	0133358-1								
21	13,41	2013_27382-2	0133358-1								
22	11,89	2013_27391-1	004300978								
23	12,23	2013_27391-2	004300978								
24	13,13	2013_27428	004301105								

Рисунок Б.1 – Интерфейс алгоритму

Початок роботи починається із завдання мінімальної та максимальної кількості рулонів в схемі, що можна сформувати. Потім натискаємо кнопку – «Формирование загрузки – Начать». З'являється діалогове вікно, що наведено на рис. Б.2.

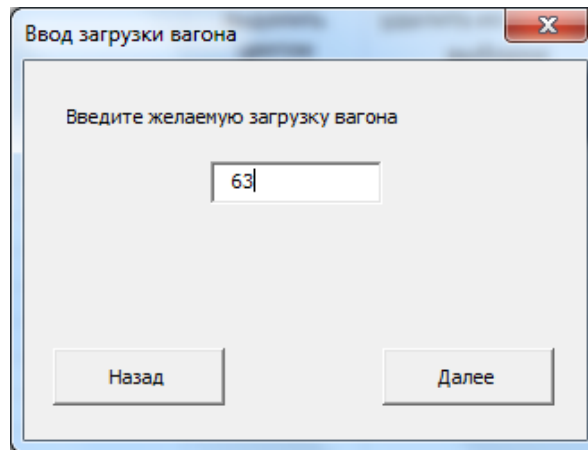


Рисунок Б.2 – Діалогове вікно вводу завантаження вагону

Задаємо завантаження «нетто» для вагону (без урахування ваги піддонів, лісоматеріалів (для кріплення) для заданих схем). Далі потрібно задати похибку у діалоговому вікні, що наведено на рис. Б.3.

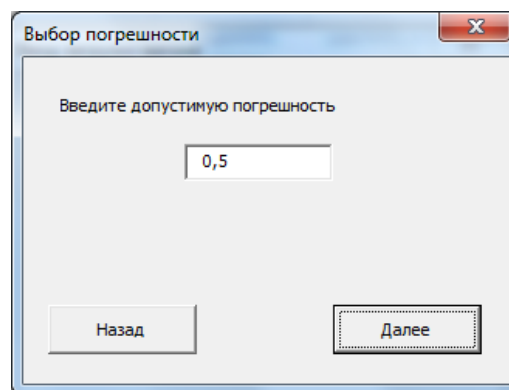


Рисунок Б.3 – Діалогове вікно завдання допустимої похибки

Результати роботи алгоритму будуть відображені в обраному стовпці та загальна сума – в обраній комірці. Діалогове вікно виводу ваги рулонів наведено на рис. Б.4.

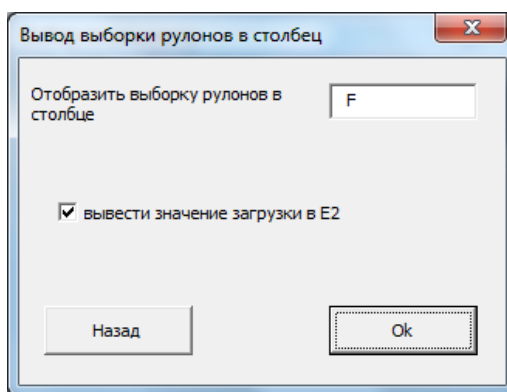


Рисунок Б.4 – Діалогове вікно виводу маси рулонів на лист поточного документа

Загальний інтерфейс після виводу ваги рулонів на заданий лист поточного документа має вигляд, що наведений на рис. Б.5.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Вес рулона	Партия	Плавка		Сумма	Комбинация		
2	6,15	2013_17077-1A	004301105		62,94	13,38		
3	6,08	2013_23648-0	000223482	формирование		13,38	выделить	удалить из исходной
4	13,00	2013_25690-0	000613581	загрузки		13,35	цветом	выборки
5	11,92	2013_26528-A	000133032	Начать		13,35	Начать	Начать
6	13,06	2013_26808-3A	000133292			5,01		
7	6,64	2013_26865-0	004301088			4,47		
8	13,38	2013_26869-2	000133305					
9	12,15	2013_26869-3	000133305					
10	12,46	2013_26874-1A	0133109-1					
11	11,86	2013_26880-2	000133305					
12	12,98	2013_26880-5	000133305					
13	13,00	2013_26028-A	000333617					

Рисунок Б.5 – Загальний інтерфейс після виводу ваги рулонів на сторінку поточного документа

Отримані значення в стовпці F за допомогою кнопки «Выделить цветом – Начать» будуть виділені кольором в вихідній виборці, як наведено на рис. Б.6.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Вес рулона	Партия	Плавка		Сумма	Комбинация			
2	6,15	2013_17077-1A	004301105		62,94	13,38			
3	6,08	2013_23648-0	000223482	формирование загрузки		13,38	выделить цветом	удалить из исходной выборки	
4	13,00	2013_25690-0	000613581	Начать		13,35	Начать	Начать	
5	11,92	2013_26528-A	000133032			13,35			
6	13,06	2013_26808-3A	000133292			5,01			
7	6,64	2013_26865-0	004301088			4,47			
8	13,38	2013_26869-2	000133305						
9	12,15	2013_26869-3	000133305						
10	12,46	2013_26874-1A	0133109-1						
11	11,86	2013_26880-2	000133305						
12	12,98	2013_26880-5	000133305						
13	13,09	2013_26938-A	000223612						
14	11,46	2013_26966-0	004301107						
15	6,43	2013_27011-4	000133319						
16	6,62	2013_27045-3	000713583						
17	12,49	2013_27045-4	000713583						
18	13,16	2013_27211-0	004300978						
19	6,07	2013_27356-1	004300852						
20	6,20	2013_27382-1	0133358-1						
21	13,41	2013_27382-2	0133358-1						

Рисунок Б.6 – Виокремлені значення маси рулонів із стовпчика F у вихідній виборці A

Виокремлені значення в стовпці A за допомогою кнопки «Удалить из исходной выборки – Начать» будуть видалені із вихідного масиву A, як наведено на рис. Б.7.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Вес рулона	Партия	Плавка		Сумма	Комбинация			
2	6,15	2013_17077-1A	004301105		62,94	13,38			
3	6,08	2013_23648-0	000223482	формирование загрузки		13,38	выделить цветом	удалить из исходной выборки	
4	13,00	2013_25690-0	000613581	Начать		13,35	Начать	Начать	
5	11,92	2013_26528-A	000133032			13,35			
6	13,06	2013_26808-3A	000133292			5,01			
7	6,64	2013_26865-0	004301088			4,47			
8									
9	12,15	2013_26869-3	000133305						
10	12,46	2013_26874-1A	0133109-1						
11	11,86	2013_26880-2	000133305						
12	12,98	2013_26880-5	000133305						
13	13,09	2013_26938-A	000223612						
14	11,46	2013_26966-0	004301107						
15	6,43	2013_27011-4	000133319						
16	6,62	2013_27045-3	000713583						
17	12,49	2013_27045-4	000713583						
18	13,16	2013_27211-0	004300978						
19	6,07	2013_27356-1	004300852						
20	6,20	2013_27382-1	0133358-1						
21	13,41	2013_27382-2	0133358-1						

Рисунок Б.7 – Видалення значень маси рулонів, що були виокремлені кольором, із стовпчика A

## ДОДАТОК В

## Статистичні дані з відвантаження металопродукту

Таблиця В.1 – Статистичні дані з відвантаження металопродукту у рулонах

Вага вантажу у вагоні, т	Кількість місць, од.	Середня вага одного місця, т	Вага вантажу у вагоні, т	Кількість місць, од.	Середня вага одного місця, т
53,9	4	13,475	56,09	4	14,0225
52,72	4	13,18	69,496	6	11,58267
63,6	5	12,72	64,64	5	12,928
60,336	4	15,084	68,636	6	11,43933
61,076	4	15,269	68,376	6	11,396
60,406	4	15,1015	66,906	6	11,151
59,471	4	14,86775	64,27	5	12,854
57,586	4	14,3965	65,356	6	10,89267
60,156	4	15,039	68,216	6	11,36933
63,28	11	5,752727	67,41	6	11,235
66,546	6	11,091	65,436	6	10,906
63,79	6	10,63167	66,066	6	11,011
53,5	4	13,375	62,216	6	10,36933
67,226	6	11,20433	62,136	6	10,356
59,596	4	14,899	61,376	6	10,22933
55,95	4	13,9875	66,42	6	11,07
55,23	4	13,8075	66,045	5	13,209
57,01	4	14,2525	60,346	4	15,0865
57,34	4	14,335	52,81	4	13,2025
56,38	4	14,095	55,03	4	13,7575
70,93	6	11,82167	61,306	6	10,21767
64,545	5	12,909	68,466	6	11,411
57,58	4	14,395	69,29	6	11,54833
57,54	4	14,385	66,3	6	11,05
64,565	5	12,913	67,7	12	5,641667
57,11	4	14,2775	60,732	5	12,1464
69,495	5	13,899	62,276	10	6,2276
60,39	5	12,078	62,126	6	10,35433
68,37	5	13,674	57,766	10	5,7766
58,116	4	14,529	69,176	6	11,52933

## Продовження таблиці В.1

Вага вантажу у вагоні, т	Кількість місць, од.	Середня вага одного місця, т	Вага вантажу у вагоні, т	Кількість місць, од.	Середня вага одного місця, т
70,09	6	11,68167	67,78	6	11,29667
60,38	5	12,076	69,28	5	13,856
58,836	10	5,8836	64,26	5	12,852
66,806	6	11,13433	68,13	6	11,355
67,5	6	11,25	55,58	7	7,94
54,75	4	13,6875	59,136	4	14,784
57,98	4	14,495	68,226	6	11,371
56,08	4	14,02	65,01	6	10,835
59,99	5	11,998	56,53	4	14,1325
56,36	4	14,09	57,16	4	14,29
68,746	6	11,45767	68,045	5	13,609
59,75	5	11,95	56,72	4	14,18
68,756	6	11,45933	65,69	11	5,971818
55,385	4	13,84625	67,506	6	11,251
56,7	4	14,175	59,6	4	14,9
55,25	4	13,8125	58,61	4	14,6525
68,745	5	13,749	57,29	4	14,3225
63,34	6	10,55667	68,615	5	13,723
66,06	10	6,606	60,36	5	12,072
68,396	6	11,39933	55,856	4	13,964
66,606	6	11,101	69,026	6	11,50433
68,78	6	11,46333	60,25	5	12,05
64,756	6	10,79267	69,286	6	11,54767
59,786	6	9,964333	59,066	6	9,844333
66,29	11	6,026364	56,68	4	14,17
58,97	10	5,897	57,22	4	14,305
68,715	5	13,743	66,965	5	13,393
68,545	5	13,709	60,22	5	12,044
57,326	6	9,554333	62,636	6	10,43933
68,615	5	13,723			

Таблиця В.2 – Статистичні дані з відвантаження металопрокату у пачках

Вага вантажу у вагоні, т	Кількість місць, од.	Середня вага одного місця, т	Вага вантажу у вагоні, т	Кількість місць, од.	Середня вага одного місця, т
65,595	13	5,045769	65,57	12	5,464167
64,92	11	5,901818	66,85	12	5,570833
65,955	12	5,49625	66,68	14	4,762857
61,73	11	5,611818	66,24	12	5,52
67,11	14	4,793571	58,125	10	5,8125
67,455	13	5,188846	63,68	10	6,368
66,93	13	5,148462	65,76	11	5,978182
65,115	12	5,42625	65,24	11	5,930909
63,85	11	5,804545	66,745	12	5,562083
60,95	11	5,540909			

## Додаток Г

## Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи  
та міжнародної діяльності  
Національного університету  
«Запорізька політехніка»



В. В. Паумик

ЗАТВЕРДЖУЮ

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



О. Ф. Адаманов

2020 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи  
Васильєвої Лариси Олексіївни

Комісія у складі:

голови: в.о. начальника цеху холодного прокату №1 Русакова С.С.

членів комісії:

заступник начальника служби вантажної та комерційної роботи на залізничному транспорті  
Колісника В.А.;

заступника начальника цеху холодного прокату № 1 Кузьменко С.І.

представника НУ «Запорізька політехніка» зав. каф. «Транспортні технології», д-р. техн.  
наук, проф. Турпак Сергія Миколайовича,

склали дійсний акт в тому, що запропоновані в дисертаційній роботі Васильєвої Лариси Олексіївни:  
методика оптимального формування вагонних відправлень, яка дозволяє зменшити  
потрібну кількість рухомого складу для перевезень, вартість витрат на доставку та розмір плати за  
користування вагонами;

модель процесу відвантаження металопрокату на автомобільний транспорт різної  
вантажопідйомності для ефективного технологічного процесу транспортного обслуговування  
вантажодержувачів;

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 42,5 тис. грн.

Голова комісії

Члени комісії

С.С. Русаков

В.А. Колісник

С.І. Кузьменко

С. М. Турпак



ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової роботи  
та міжнародної діяльності  
Національного університету  
«Запорізька політехніка»

В. В. Наумик

03.06 2020 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи  
Васильєвої Лариси Олексіївни

03.06 2020 р.

м. Запоріжжя

Складено комісію у такому складі:

Голова: декан транспортного факультету, д-р. техн. наук, доцент О. Ф. Кузькін

члени комісії:

завідувач кафедри «Транспортні технології», д-р. техн. наук, проф. С. М. Турпак  
доцент кафедри «Транспортні технології», канд. техн. наук О. О. Острогляд

Комісія провела роботу по визначенню фактичного впровадження результатів дисертаційної роботи Васильєвої Л. О. на тему «Підвищення ефективності перевезень вузькономенклатурної крупнопартійної металопродукції раціональним формуванням вантажних відправлень» та установила, що результати вказаної роботи впроваджені у Національному університеті «Запорізька політехніка» Міністерства освіти і науки України на кафедрі «Транспортні технології».

Вид та об'єм впровадження.

1. Науковий підхід до розробки імітаційних моделей функціонування вантажних фронтів навантаження металопродукції, які дозволяють підвищити ефективність роботи транспортно-складського комплексу за рахунок скорочення часу перебування вагонів у системі в разі раціонального використання навантажувальних ресурсів, використовується у лабораторних роботах з дисципліни «Моделювання транспортних процесів».
2. Удосконалений підхід до визначення парку багатооборотних засобів кріплення для перевезення металопрокату з урахуванням параметрів, що характеризують тривалість транспортно-технологічних процесів при доставці продукції, для досягнення зниження загальних логістичних витрат при доставці вантажів, використовується в лекційних курсах та практичних заняттях дисципліни «Транспортно-експедиторська діяльність».

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

Члени комісії

О. Ф. Кузькін

С. М. Турпак

О. О. Острогляд