

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ ІМ. АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

**ВАСИЛЬЄВА ЛАРИСА ОЛЕКСІЇВНА**

УДК 656.073 : 658.286

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

Спеціальність 05.22.12 – промисловий транспорт  
Галузь знань 027 – транспорт

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Транспортні технології» у Національному університеті «Запорізька політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Турпак Сергій Миколайович**,  
завідувач кафедри транспортних технологій (Національний університет «Запорізька політехніка», м. Запоріжжя)

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Козаченко Дмитро Миколайович**,  
професор кафедри управління експлуатаційною роботою (Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна, м. Дніпро)

кандидат технічних наук, доцент  
**Маслак Ганна Вікторівна**,  
доцент кафедри транспортних технологій підприємств («ДВНЗ» Приазовський державний технічний університет, м. Маріуполь)

Захист відбудеться «11» березня 2021 р. о 15.30 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01 при Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна або на сайті університету <http://diit.edu.ua/> (Наука - Захисти в раді Д 08.820.01).

Автореферат розісланий «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 08.820.01,  
доктор технічних наук, професор



А.М. Муха

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

Для задач мінімізації витрат на перевезення металопродукції шляхом вибору оптимального виду транспорту, розробки маршрутів руху тощо, є достатньо розвинутий 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. Щоб оцінити ефективність, необхідно врахувати додаткові фактори, обумовлені 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 транспортних засобів при відвантаженні металопродукату використано метод головних компонент факторного аналізу.

Для упорядкування позицій номенклатури для формування концепції раціонального розміщення металопродукату 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 ефективне 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 при перевезенні металопродукату.

### **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 їх 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 науко-

метричної 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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання досліджень, відображені наукова новизна результатів, а також подано відомості про практичне значення результатів роботи, які виносяться на захист.

**У першому розділі** проведено аналіз сучасного стану проблеми ефективності функціонування мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургійних підприємств, визначені мета і завдання дослідження.

В результаті аналізу встановлено, що перевезення вузькономклатурної 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 МЛС ВГП металургійного підприємства з урахуванням факторів впливу.

Вагомий внесок у дослідження та вдосконалення функціонування логістичних систем металургійних підприємств зробили: Бабушкін Г. Ф., Губенко В. К., Гусев Ю. В., Козаченко Д. М., Кузькін О. Ф., Маслак Г. В., Парунакян В. Е., Рахмангулов А. Н., Туранов Т. Х., Турпак С. М., Чернецька-Білецька Н. Б. та ін.

Над проблемами відвантаження готової продукції металургійних підприємств працюють Аксенов М. Л., Лінник Г. В., Маслак Г. В., Турпак С. М., Ширяев С. А., Шрамченко Н. Ю. та ін.

В ході літературного аналізу за темою дослідження встановлено, що перевезення вузькономклатурної крупнопартійної металопродукції потребують удосконалення транспортних технологій на етапі формування вантажних відправлень.

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, а також необхідність формалізації досліджуваної системи та її процесів, постановка та вирішення наукових задач оптимізації формування вантажних відправлень за критерієм мінімізації загальних логістичних витрат.

Таким чином, підвищення ефективності стратегії управління МЛС ВГП є актуальною і потребує вирішення. На підставі аналізу літературних джерел сформульовані мета і завдання дослідження.

У другому розділі виконано формалізацію МЛС ВГП металургійних підприємств. Визначено особливості функціонування прокатного цеху, який взаємодіє не тільки з виробничими цехами, що забезпечують прокатне виробництво, але й з об'єктами внутрішньозаводського й зовнішнього транспорту. Розроблено загальну схему проходження матеріальних потоків прокатного виробництва (рис.1), в якій виділено мікрологістичну систему відвантаження готової продукції.

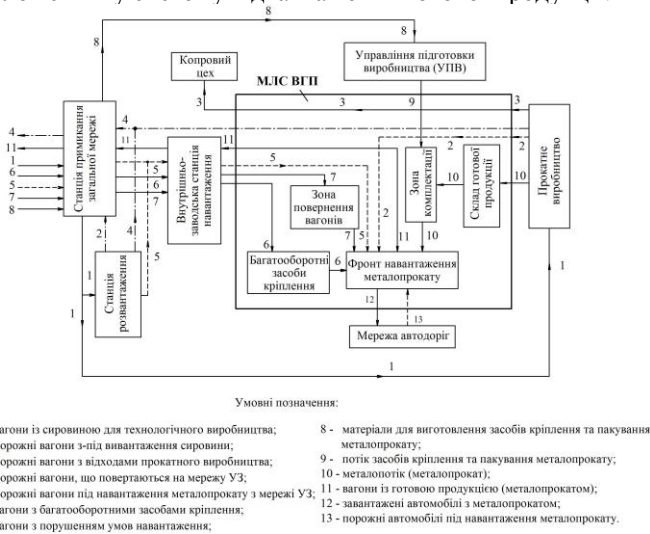


Рисунок 1 – Схема проходження матеріальних потоків прокатного виробництва

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 вантажених вагонів з металопрокату з вантажних фронтів, а також обслуговуванні автотранспорту при відвантаженні готової продукції.

Визначено фактори, що впливають на функціонування МЛС ВГП металургійного підприємства (рис. 2).



Рисунок 2– Групи факторів, що впливають на МЛС ВГП

Критерієм ефективності функціонування МЛС ВГП є мінімум загальних логістичних витрат, які включають витрати на доставку, засоби кріплення, користування транспортними засобами. Але, витрати, які не залежать від параметрів вантажних місць, при визначенні цільової функції, немає сенсу враховувати.

Від параметрів вантажних місць та характеристик матеріального потоку можуть залежати 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, тому цільова функція приймає вигляд:

$$z = f \left[ C_{\text{дп}}(N_i^{\text{ТЗ}}, c_{\text{дв}}, K_{\text{вп}}); C_{\text{кр}}(N_i^{\text{ТЗ}}, N_i^{\text{БК}}, c_{\text{БК}}, c_{\text{ок}}); C_{\text{пл}}(N_i^{\text{ТЗ}}, c_{\text{ТЗ}}, t_{\text{в}i}) \right] \rightarrow \min, \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$N_i^{\text{ТЗ}} \geq N_i^{\text{БК}} \geq 0, \quad (2)$$

$$1 \geq K_{\text{вп}} \geq 0, \quad (3)$$

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 транспортно-го 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 (1) дозволить поєднати локальні оптимізаційні методи та сформуванати методологію, яка забезпечить підвищення ефективності МЛС ВГП, що досягається шляхом оптимізації таких параметрів функції (1), як  $K_{\text{вп}}$ ,  $N_i^{\text{БК}}$  та  $t_{\text{в}i}$ .

Складовими 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 засобів механізації та іншого обладнання визначається технологією роботи складу.

За допомогою факторного аналізу виділені змінні, які впливають на коефіцієнт використання вантажопідйомності вагону, та методом головних компонент визначені змінні, через параметри яких це значення можна підвищити.

Досліджені методом статистичного аналізу основні схеми розміщення та кріплення металопродукції у вагонах на базовому підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» та визначено, при яких значеннях кількості рулонів металопродукату у транспортному засобі досягається найбільше завантаження.

Досліджені параметри, що обумовлюють ефективне використання багатооборотних засобів кріплення вантажу. Задача отримання оптимального значення  $N_i^{\text{БК}}$  полягає в знаходженні мінімуму цільової функції виду:

$$Z = f(y_1, y_2, \dots, y_n) \rightarrow \min, \quad (4)$$

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

$$y_i = a_i N_i^{\text{БК}} + b(N_i^{\text{ТЗ}} - N_i^{\text{БК}}), \text{ за умов} \quad (5)$$



$$0 \leq N_i^{\text{БК}} \leq N_i^{\text{ТЗ}}; a_i, b, N_i^{\text{ТЗ}} = \text{const} \geq 0, i = \overline{1, n},$$

$N_i^{\text{БК}}$  - 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 функція (4) приймає вид:

$$Z = \sum_{i=1}^n \left( a_i N_i^{\text{БК}} + b \left( N_i^{\text{ТЗ}} - N_i^{\text{БК}} \right) \right). \quad (6)$$

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.

Проведений АВС-аналіз для визначення зонування ділянок складу готової продукції прокатного цеху та визначено коефіцієнт частоти звернень для кожного типорозміру металопрокату в рулонах та пачках.

В результаті розроблено методику складування вантажу у послідовно розташованих від вантажного фронту зонах А, В та С (рис. 3) та 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.

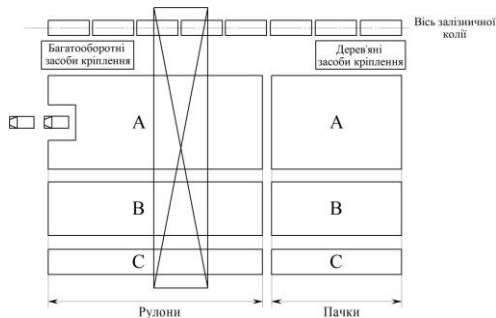


Рисунок 3 – Виділення зон ділянки відвантаження металопродукції в залежності від коефіцієнту частоти звернень

На основі проведених досліджень та сформованої цільової функції в наступних розділах виконується розробка методів та моделей підвищення ефективності МЛС ВГП раціональним формуванням вантажних відправлень.

**Третій розділ** присвячено удосконаленню методів організації та планування роботи транспортно-складської системи промислового підприємства.

На сьогоднішній день на багатьох металургійних комбінатах України широко використовується два способи відвантаження готової продукції: багатооборотні засоби кріплення (БОЗК) та дерев'яні кріплення. Для відправки за напрямками зі стабільними вантажопотоками використовуються БОЗК, а за їх відсутності – готова продукція відправляється за допомогою розкріплення на дереві.

Метод організації перевезень вузькономклатурної 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 БОЗК – визначаються техніко-економічні показники. На основі їх аналізу обираються оптимальні параметри функціонування.

Вихідними даними для моделювання є інтенсивність відправлень продукції, кількість БОЗК, що використовується, та тривалість технологічних операцій. В результаті моделювання (рис.4) отримуємо кількість БОЗК в запасі на складі готової продукції, а також кількість відправлень металопрокату на БОЗК та з дерев'яним кріпленням.

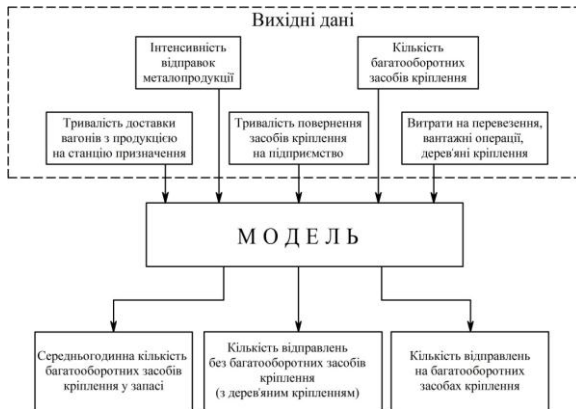


Рисунок 4 – Схема проведення експерименту для визначення оптимальної кількості БОЗК для відправлення металопрокату

З огляду розгляду інтенсивності відправлення рулонів на БОЗК були виділені напрямки зі стабільними вантажопотоками, виконано статистичний аналіз випадкової величини інтенсивності відправлень металопродукції на БОЗК. На рис. 5 в якості прикладу представлена гістограма розподілу випадкової величини інтенсивності відправлень продукції 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.

При запланованій (прогнозованій) зміні інтенсивності відповідно змінюються параметри обраних законів. Параметр кількості БОЗК (робочий парк) змінюється покроково в діапазоні від 70% до 100% показника забезпечення ними відправлень продукції. За початкове значення приймається фактична кількість БОЗК.

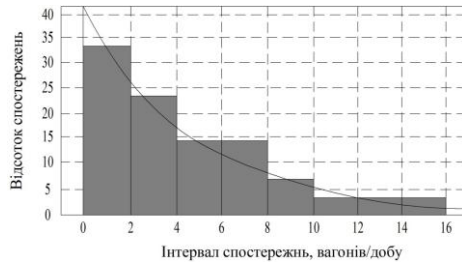
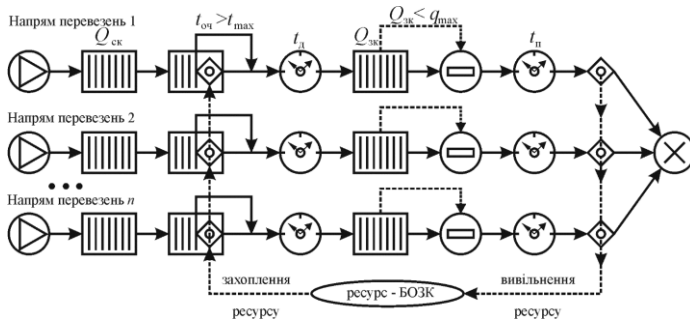


Рисунок 5 – Аналіз інтенсивності відправлення металопродукції на багатооборотних засобах кріплення до станції Херсон Порт

Було розроблено типову та імітаційну схему моделі (рис. 6). Вона може бути реалізована в програмному середовищі Anylogic, або аналогічних програмах.



Умовні позначення:

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

Рисунок 6 – Схема імітаційної моделі виконання процесів доставки металопродукції з корегуванням розмірів партій БОЗК, які повертаються під чергове навантаження

В типовій моделі у якості замовлення виступають транспортні партії вантажу. Генерація замовлень здійснюється за відповідним вихідним статистичним 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. 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 блокувальником 5.

Після розблокування партія заявок затримується на час  $t_n$ , потрібний для повернення транспортного засобу з БОЗК під чергове навантаження. Ресурси вивільнюються, замовлення знищуються, інформація щодо їх кількості фіксується.

Типова модель не враховує можливості відправлення БОЗК в меншій кількості від нормативної, а в імітаційній моделі замовлення, які не змогли захопити ресурси через їх відсутність, не знищуються, а рухаються разом з іншими за загальним процесом обробки. За рахунок цього в моделі враховується оперативне управління процесом перевезень в реальних умовах роботи. Критерій оптимізації – мінімум логістичних витрат на доставку вантажів. 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 визначаємо імовірність знаходження БОЗК у роботі в залежності від їхньої загальної кількості.

Спостереження за ходом виконання експериментів здійснюються за гістограмами, представленими на рис. 7, 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.

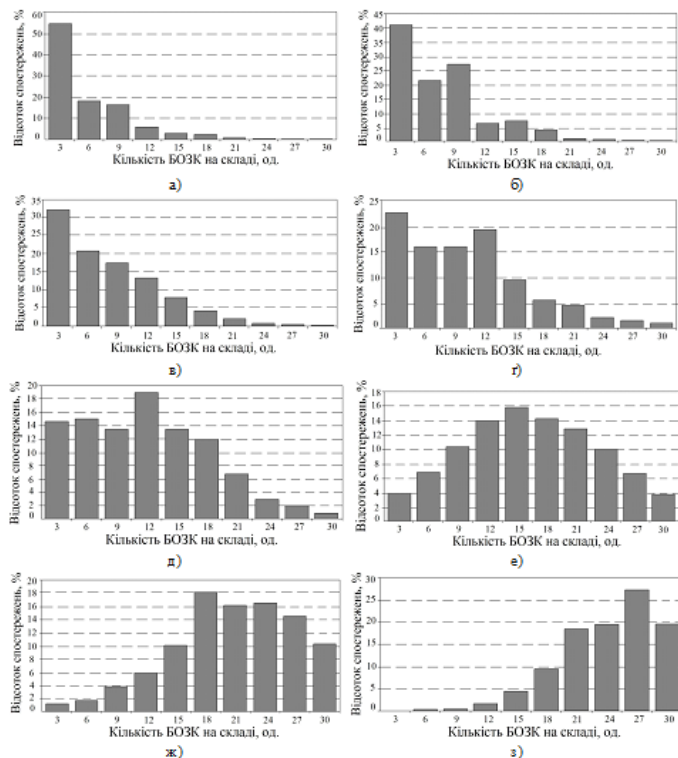


Рисунок 7 – Аналіз наявності багатооборотних засобів кріплення на складі прокатного цеху при змінах розміру їх загального парку

Шляхом візуального аналізу даних гістограм можна визначити 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.

Результати проведеного експерименту представлені у вигляді графіка зміни кількості відправлень із одноразовими кріпленнями та з БОЗК в залежності від робочого парку останніх (рис. 8).

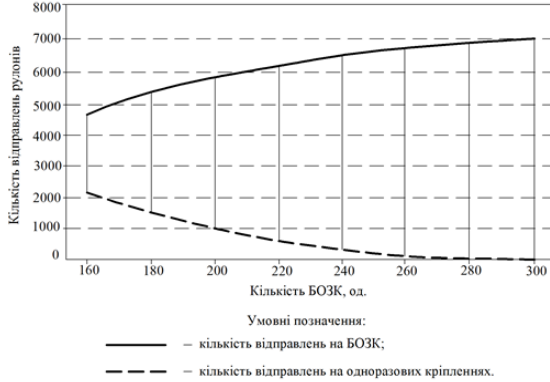


Рисунок 8 – Зміна кількості відправлень із одноразовими кріпленнями та з БОЗК в залежності від робочого парку

За даними аналітичного розрахунку потреба в БОЗК складала 260 одиниць, а за результатами моделювання визначений оптимальний парк багатооборотних засобів кріплення складає 220 одиниць. Використання запропонованого методу для визначення оптимальної кількості БОЗК дозволяє отримати певний економічний ефект, а загальні логістичні витрати при цьому зменшуються на 1,7%.

Також розроблено технологію формування вантажних відправлень за критерієм максимального використання вантажопідйомності вагону. Задачу вирішено методом лінійного програмування, яку можна записати в такому вигляді:

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

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} k_k \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (7)$$

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

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) має вигляд:

$$z = \frac{\sum B_i^{\text{лог}}}{\sum a_i \cdot x_i} = \frac{\sum B^{\text{пак}} + \sum B^{\text{вант}} + \sum B^{\text{кр}}}{\sum a_i \cdot x_i} \rightarrow \min, \quad (8)$$

де  $\sum B_i^{\text{лог}}$  - сумарні логістичні витрати, пов'язані з відвантаженням рулонів  $x_i$  маси, грн.;  $a_i$  - кількість рулонів  $x_i$  маси, од.;  $\sum B^{\text{пак}}$  - витрати на пакування, грн;  $\sum B^{\text{вант}}$  - витрати, пов'язані з використанням навантажувально-розвантажувальних механізмів, грн;  $\sum B^{\text{кр}}$  - витрати на матеріали для закріплення рулонів, грн.

Враховуємо обмеження на вагу нетто вантажу у вагоні відповідно до схем розміщення та кріплення вантажів та обмеження на вагу рулонів:

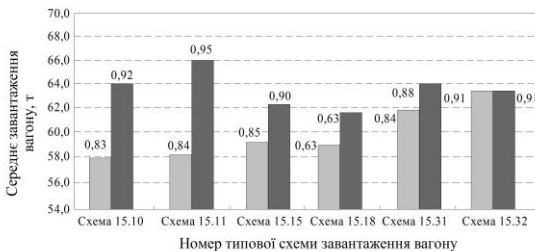
$$a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n = q_{\text{в}} - z \cdot m_{\text{п}} - m_{\text{кр}}, \quad (9)$$

$$b_{\text{max}} \leq x_1, x_2 \dots x_n \leq b_{\text{min}}, \quad (10)$$

де  $a_1, a_2, a_n$  - кількість рулонів, які є симетричними відносно поздовжньої вісі вагону;  $q_{\text{в}}$  - вантажопідйомність вагона, т;  $m_{\text{п}}$  - маса піддона, що використовується в схемі відвантаження, т;  $z$  - кількість використаних піддонів, од;  $m_{\text{кр}}$  - маса лісоматеріалів для закріплення рулонів, т;  $b_{\text{max}}, b_{\text{min}}$  - відповідно мінімальна і максимальна межа маси рулонів в замовленні, які є на складі і допускаються до використання в схемах навантаження, т.

Методика розрахована для комбінованого способу завантаження рулонами подвійної й одинарної маси. Показники завантаження піввагонів металопрокатом за типовими схемами і за схемами із застосуванням методу оптимізації та значення коефіцієнту нерівномірності наведені на рис. 9.

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.



Умовні позначення:

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

Рисунок 9 – Середнє завантаження вагонів металопрокатом

У четвертому розділі розроблено імітаційні моделі роботи фронтів відвантаження на залізничний і автомобільний транспорт.

Для вдосконалення транспортно-складських процесів навантаження металопродукції мостовими кранами проведений аналіз фактичних зон роботи кранів через розробку імітаційних моделей їх функціонування та встановлення найбільш ефективної технології навантаження. На рис. 10. схематично показано один з вантажних фронтів відвантаження готової продукції ЦХП-1, взятий для дослідження.

Металопрокат з ділянки пакування передається між прольотами мостових кранів трансферкарними візками, а після подачі на фронт відвантаження або укладається в зоні видачі складу готової продукції або одразу завантажується у вагони. 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, причому за наявною технологією роботи чітко не визначені зони роботи кранів.

З урахуванням значної кількості параметрів роботи складів металопрокату та стохастичний характер надходження продукції для відвантажується, використовуємо метод імітаційного моделювання за допомогою програмного забезпечення Service Model.

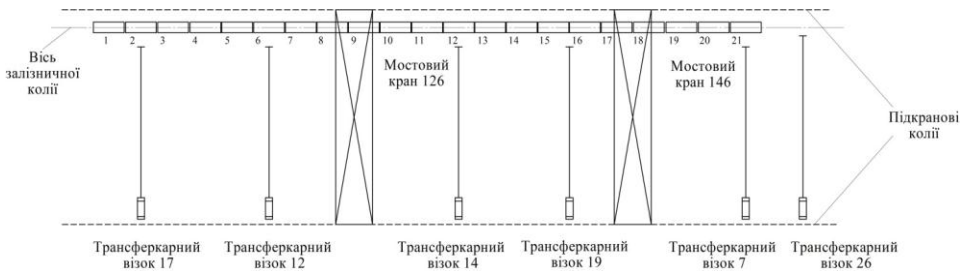


Рисунок 10 – Схема фронту відвантаження металопрокату прокатного цеху

Для моделювання було обрано три варіанти спільної роботи мостових кранів:

- модель «9 – 1 – 1 – 10», коли зона спільного обслуговування складає 2 вагони (мінімальна кількість);
- модель «3 – 8 – 7 – 3», коли зона спільного обслуговування складає 15 вагонів (максимальна кількість);
- модель «7 – 4 – 3 – 7», коли зона спільного обслуговування складає 7 вагонів (середнє значення).

В моделі розташовуємо 10 контрольних точок, що відповідають шести зонам ділянки відвантаження, куди надходить металопрокат на трансферкарах (WarehouseArea) та чотирьом групам вагонів (CarriagesGroup). Елементом обслуговування є Metal з певними характеристиками. Тривалість моделювання – 24 години.

На рис. 11 показано схему роботи вантажного фронту за моделлю «3 – 8 – 7 – 3», коли зона спільного обслуговування мостовими кранами складає 15 вагонів.



Рисунок 11 – Схема обслуговування вантажного фронту за моделлю «3 – 8 – 7 – 3»

При моделюванні були визначені часові параметри обслуговування для раціонального формування вантажних відправлень металопрокату (табл. 1).

Таблиця 1 – Аналіз результатів використання мостових кранів

Ім'я ресурсу	Кількість переміщених елементів обслуговування	Середній час переміщення елементів обслуговування, хв.	Відсоток часу, %	
			перебування елемента обслуговування в системі	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.)		

При завантаженні мостовими кранами за схемою з максимальною кількістю вагонів в зоні спільного обслуговування значно скорочується і час завантаження групи вагонів (з 14,4 год. до 9,8 год.) і час роботи кранів (на 30%), що дозволяє їх більш ефективно використовувати в основному технологічному процесі прокатного цеху.

Отримані результати моделювання поопераційного аналізу часу просування вантажопотоку металопрокату залежно від зон роботи кранів наведені в табл. 2.

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.



Таблиця 2 – 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	44,68	57,76
Моделювання «3 – 8 – 7 – 3»				
330,99	147,88	163,11	42,24	55,32

В роботі також розроблено імітаційну модель процесу навантаження металопрокату на автомобільний транспорт з урахуванням стохастичного характеру ваги окремих вантажних місць (рис. 12), за допомогою якої можливо оцінити ефективність використання автотранспорту різних марок та типів при обслуговуванні споживачів металопрокату.

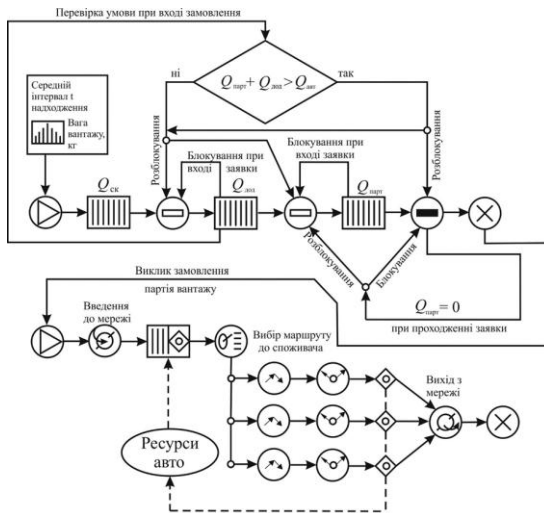


Рисунок 12 – Схема імітаційної дискретно-подійної моделі відвантаження металопродукції автомобільним транспортом

Умовні позначення відповідають наведеним на рисунку 6, окрім таких елементів:

- блокувальний елемент  $\ominus$ , який, на відміну від блокувальника  $\ominus$ , заблокований при початку роботи алгоритму;
- елемент введення заявки до транспортної мережі програми імітаційного моделювання  $\oplus$  та елемент виведення з транспортної мережі заявки  $\otimes$ ;
- елемент вибору маршруту доставки металопродукції  $\odot$ .

На рисунку 12 початковим елементом є генератор замовлень  $\textcircled{\otimes}$ , а заявкою – одне вантажне місце металопродукції. 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 автомобілях, здійснюється елементами блокування входу до черг  $Q_{дод}$  та  $Q_{парт}$ . Вимога додавання заявки до партії вантажу визначається невиконанням умови:

$$Q_{парт} + Q_{дод} > Q_{авт}, \quad (11)$$

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

Якщо умова (11) виконується, комплект заявок переходить до елемента зниження, та цей елемент викликає появу заявки – завантаженого автомобіля у нижній гілці руху замовлень (рис. 12). Після доставки вантажу до споживача, ресурси вивільнюються, та можуть бути знову захоплені черговими заявками.

Маршрути в моделі прокладені у реальному масштабі відстаней, а рух автомобілів по них – здійснюється у реальному масштабі часу.

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

Аналіз результатів моделювання показав, що при збільшенні вантажопідйомності автомобілів підвищується і коефіцієнт її використання з 0,625 до 0,897 (рис. 13) та підвищується ефективність доставки металопродукату.

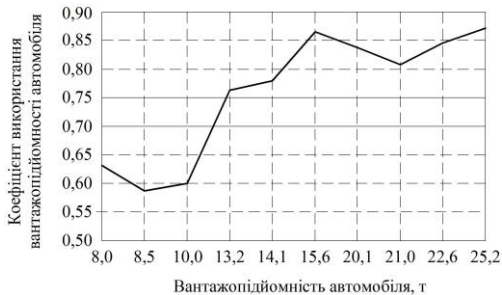


Рисунок 13 – Графік залежності коефіцієнту використання вантажопідйомності від фактичної вантажопідйомності автомобілів в умовах відправлення одинарних рулонів ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

Запропонована модель може бути корисною при визначенні ефективності перевезень в залежності від маршрутів доставки вантажів.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача підвищення ефективності перевезень вузькономклатурної крупнопартійної металопродукції шляхом розробки методів, які враховують технічні та технологічні особливості формування вантажних відправлень даної продукції.

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 навантажуються) 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 0,873 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

### *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.

*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. Шамова // 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. – 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. – 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. – 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. – 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. – 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. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – С. 33-34.
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 16-20 квітня 2018 року. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2018. – С. 138-139.
15. Турпак С. М. Підвищення ефективності перевезень вузькономієнатурної 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. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – С. 73-75.

## 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. – Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. В. Лазаряна, Дніпро, 2021.

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.

Проведено аналіз сучасного стану ефективності функціонування мікрологістичної системи відвантаження готової продукції 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. Формалізовано МЛС ВГП в ланці логістичного ланцюга «прокатне виробництво – магістральний транспорт» металургійного підприємства.

Отримана цільова функція, яка дозволяє поєднати локальні оптимізаційні методи та сформувані методологію, що забезпечить підвищення ефективності мікрологістичної системи відвантаження готової продукції. Визначені основні параметри системи МЛС ВГП. Удосконалено методи організації та планування роботи транспортно-складської системи промислового підприємства.

Підвищення ефективності мікрологістичної системи відвантаження готової продукції досягнуто за критерієм мінімізації загальних логістичних витрат. Результати виконаних досліджень дозволили підвищити ефективність роботи мікрологістичної системи відвантаження готової продукції металургійних підприємств за рахунок оптимізації формування вантажних відправлень.

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

## SUMMARY

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 Rail-way Transport, Dnipro, 2021.

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 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 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.

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. A method for optimal formation of car shipments has been developed, which reduces the required amount of rolling stock for transportation and total delivery costs.

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.

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 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

**ВАСИЛЬЄВА ЛАРИСА ОЛЕКСІЇВНА**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора