

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Транспортний

(повне найменування факультету)

«Транспортні технології»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

магістра

(ступінь вищої освіти)

на тему: ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНО-
ЛОГІСТИЧНОЇ СИСТЕМИ ВІДПРАВКИ МЕТАЛОПРОКАТУ З ЦХП-1
ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ»

Виконав: студент II курсу, групи T-813м

Спеціальності 275 «Транспортні технології
(за видами)»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

275.02 «Транспортні технології

(на залізничному транспорті)»

Керівник

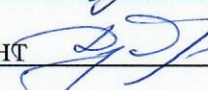
 Данило ДІДЕНКО

(прізвище та ініціали)

 Олена ОСТРОГЛЯД

(прізвище та ініціали)

Рецензент

 Ольга ДУДАРЕНКО

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет _____ Транспортний
Кафедра _____ «Транспортні технології»
Ступінь вищої освіти _____ магістр
Спеціальність _____ 275 «Транспортні технології (за видами)»
(код і найменування)
Освітня програма (спеціалізація) 275.02 «Транспортні технології (на
залізничному транспорті)»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«Транспортні технології»

Сергій ТУРПАК

«01» листопада 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ДІДЕНКА Данила Тарасовича

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Дослідження та удосконалення транспортно-логістичної системи відправки металопродукату з ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»

керівник проєкту (роботи) к.т.н. ОСТРОГЛЯД Олена Олександрівна

(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «26» листопада 2024 року №487

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 22 січня 2025 р.

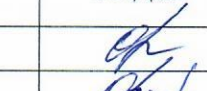
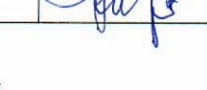
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) обсяги відправлень металопродукату з ЦХП-1, інтервали відправок, тривалість вантажних операцій, обсяги партій відправок, існуюча технологія відвантаження металопродукату, схеми розміщення вантажу в рухомому складі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналітична частина, 2. Основна частина, 2.1 Статистична обробка вихідних даних щодо відвантаження продукції з ЦХП-1, 2.1.1 Статистичний аналіз інтервалів відправлень металопродукату, 2.1.2 Статистичний аналіз кількості вагонів, 2.1.3 Статистичний аналіз тривалості простою вагонів під навантаженням, 2.2 Створення імітаційної моделі транспортно-логістичної системи відправки металопродукату, 2.2.1 Встановлення ресурсів та параметрів моделі, 2.2.2 Розробка логіки моделі, 2.3 Експериментальні дослідження та результати моделювання системи, 3. Економічна частина, 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Презентація магістерської роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ОСТРОГЛЯД О.О., доцент		
2	ОСТРОГЛЯД О.О., доцент		
3	ХАРЧЕНКО Т.В., старш. викл.		
4	ЛАЗУТКІН М.І., доцент		

7. Дата видачі завдання «01» листопада 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналітична частина	28.10.2024-10.11.2024	
2	Основна частина	11.11.2024-15.12.2024	
3	Економічна частина	16.12.2024-29.12.2024	
4	Охорона праці	20.01.2025-26.01.2025	
5	Оформлення МР, перевірка МР на плагіат, отримання зовнішніх рецензій, захист магістерських робіт	27.01.2025-05.02.2025	

Студент(ка)


(підпис)

Данило ДІДЕНКО
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)


(підпис)

Олена ОСТРОГЛЯД
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 82 с., 8 табл., 29 рис., 3 дод., 12 джерел.

ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНА СИСТЕМА, ВІДВАНТАЖЕННЯ, МЕТАЛОПРОКАТ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ, СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ВИТРАТИ.

Об'єкт дослідження – транспортно-логістичні процеси відвантаження металопрокату з цеху холодного прокату №1 ПАТ «Запоріжсталь».

Мета роботи – дослідження та удосконалення транспортно-логістичної системи відправки металопрокату з цеху холодного прокату №1 ПАТ «Запоріжсталь».

Методи дослідження – аналітичний, статистичний аналіз, метод імітаційного моделювання, економічний аналіз.

У даній роботі досліджено процеси організації та оптимізації транспортно-логістичної системи відправки металопрокату з цеху холодного прокату №1 ПАТ «Запоріжсталь». Особлива увага приділена виявленню проблем, що виникають у процесах транспортування та відвантаження продукції, таких як вузькі місця та неефективні етапи, що знижують продуктивність і призводять до зростання витрат.

Для вирішення цих проблем використано метод імітаційного моделювання, який дозволив створити модель транспортно-логістичної системи та провести експериментальні дослідження різних варіантів її організації. Результати моделювання показали, що оптимізація ресурсів та розміру партій вантажів може значно покращити ефективність системи, зменшуючи час простою та операційні витрати. Крім того, були проведені економічні розрахунки, які підтвердили доцільність запропонованих змін, що дозволяє досягти значних економічних вигод для підприємства..

ЗМІСТ

	с.
Завдання на проєкт.....	2
Реферат.....	4
Зміст.....	5
Вступ.....	7
1 Аналітична частина.....	9
1.1 Характеристика цеху холодної прокатки №1 ПАТ «Запоріжсталь».....	9
1.2 Організація вантажно-розвантажувальних операцій у цеху холодної прокату.....	10
1.3 Аналіз моделювання процесів відвантаження металопрокату на основі імітаційного підходу.....	18
1.4 Аналіз існуючих обсягів відвантаження металопрокату з ЦХП-1.....	22
1.5 Виявлення недоліків існуючої системи та постановка завдань дослідження.....	28
2 Основна частина.....	30
2.1 Статистична обробка вихідних даних щодо відвантаження продукції з ЦХП-1.....	30
2.1.1 Статистичний аналіз інтервалів відправлень металопрокату.....	31
2.1.2 Статистичний аналіз кількості вагонів.....	32
2.1.3 Статистичний аналіз тривалості простою вагонів під навантаженням.....	35
2.2 Створення імітаційної моделі транспортно-логістичної системи відправки металопрокату.....	38
2.2.1 Встановлення ресурсів та параметрів моделі	
2.2.2 Розробка логіки моделі	42

2.3	Експериментальні дослідження та результати моделювання системи.....	49
3	Економічна частина.....	53
3.1	Розрахунок вартості відправки металопрокату з ЦХП-1.....	53
3.1.1	Розрахунки витрат за базовим варіантом.....	55
3.1.2	Розрахунки витрати за проєктними варіантами.....	56
3.2	Аналіз отриманих результатів та визначення економічного ефекту.....	62
4	Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях.....	65
4.1	Аналіз потенційних небезпек.....	65
4.2	Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях.....	66
4.3	Заходи з пожежної безпеки.....	67
	Висновки.....	69
	Перелік джерел посилань.....	71
	Додаток А Аналіз додаткових потенційних небезпек.....	73
	Додаток Б Заходи по забезпеченню безпеки.....	74
	Додаток В Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	76

ВСТУП

Металургійна промисловість є однією з основних складових економіки України, забезпечуючи не тільки внутрішній попит на металопродукцію, але й активно беручи участь у міжнародній торгівлі. В умовах сучасної глобалізованої економіки конкуренція на ринку металу стає дедалі жорсткішою, що змушує металургійні підприємства постійно удосконалювати свої виробничі та логістичні процеси. Одним з таких підприємств є ПАТ «Запоріжсталь», яке займає провідні позиції серед виробників металопрокату в Україні та за її межами.

Цех холодної прокатки №1 (ЦХП-1) є важливою частиною виробничого процесу на ПАТ «Запоріжсталь». Цей цех займається виготовленням металопрокату, який надалі відправляється споживачам як у вигляді рулонів, так і в пакованих формах. Одним з найважливіших етапів у процесі виробництва є транспортування готової продукції до складів, а також організація відвантаження продукції до споживачів, що, в свою чергу, включає в себе не лише внутрішньозаводське транспортування, а й подальшу доставку залізничним та іншими видами транспорту.

Транспортно-логістична система ПАТ «Запоріжсталь», зокрема, система відправки металопрокату з ЦХП-1, є складною і багатоступеневою. Вона включає в себе етапи зберігання готової продукції, внутрішньозаводського транспортування, навантаження на залізничний транспорт, а також відправку до кінцевих споживачів. Надзвичайно важливою є ефективність кожного з цих етапів, оскільки навіть незначні затримки або недоліки на будь-якому з етапів можуть призвести до значних втрат, як у вигляді додаткових витрат, так і в плані порушення строків поставок.

Враховуючи високий рівень конкуренції на ринку металопрокату та високі вимоги до термінів поставок, удосконалення існуючої транспортно-

логістичної системи є необхідним кроком для підвищення ефективності підприємства. Це особливо важливо для ПАТ «Запоріжсталь», яке є одним з основних постачальників металу не тільки в Україні, але й на міжнародних ринках. Від здатності підприємства організувати ефективну систему відвантаження та транспортування продукції значною мірою залежить його здатність конкурувати з іншими виробниками металопрокату.

Метою даної роботи є дослідження та удосконалення транспортно-логістичної системи відправки металопрокату з ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». Для досягнення цієї мети буде проведено аналіз існуючих проблем та слабких місць в організації процесів транспортування та відвантаження продукції. Буде оцінено поточний стан логістичних потоків на підприємстві, розглянуті фактори, які впливають на їх ефективність, та запропоновані шляхи для їх оптимізації.

Одним із основних інструментів, що будуть використані для дослідження та удосконалення системи, є імітаційне моделювання. Імітаційні моделі дозволяють відтворювати реальні процеси на підприємстві, аналізувати різні сценарії розвитку подій, виявляти потенційні вузькі місця та тестувати ефективність різних управлінських рішень без необхідності втручання в реальний процес. Зокрема, в даному дослідженні буде розроблено імітаційну модель для оцінки транспортно-логістичної системи на основі конкретних даних підприємства.

Це дослідження передбачає комплексний підхід до вирішення завдань, пов'язаних з транспортуванням металопрокату. Визначення проблемних точок у логістичних потоках, удосконалення методів управління перевезеннями, а також оптимізація ресурсів і часу — все це має забезпечити підвищення ефективності роботи транспортно-логістичної системи ПАТ «Запоріжсталь», зменшення витрат на перевезення та підвищення своєчасності поставок.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика цеху холодної прокатки №1 ПАТ «Запоріжсталь»

Цех холодної прокатки №1 (ЦХП-1) ПАТ «Запоріжсталь» є одним із ключових виробничих підрозділів комбінату, який виконує важливу роль у забезпеченні високоякісного металопродукату для внутрішнього та зовнішнього ринків [1]. Завдяки сучасному технічному оснащенню, дотриманню стандартів якості та ефективній організації виробничих процесів, ЦХП-1 займає провідну позицію в структурі підприємства та є важливим елементом у ланцюзі виробництва металопродукції.

Основною продукцією ЦХП-1 є холоднокатаний рулонний і листовий прокат, виготовлений із низьковуглецевих, легованих і вуглецевих сталей. До номенклатури продукції також належать:

- рулони та листи з антикорозійним цинковим покриттям;
- прокат з полімерними покриттями, що забезпечують додаткові декоративні та захисні властивості.

Продукція цеху відповідає вимогам міжнародних стандартів (ISO 9001, EN, DIN тощо) і задовольняє потреби таких галузей, як автомобілебудування, машинобудування, будівництво та виробництво побутової техніки.

Виробничі процеси ЦХП-1 реалізуються на сучасному високопродуктивному обладнанні, до складу якого входять:

- лінії травлення рулонів для видалення окалини та очищення поверхні;
- реверсивні стани холодної прокатки, що забезпечують зменшення товщини металу до заданих розмірів із покращенням механічних властивостей і гладкості поверхні;
- агрегати нанесення цинкового покриття з можливістю гарячого цинкування;

лінії нанесення полімерних покриттів, що дозволяють забезпечити продукції високу стійкість до корозії та механічних пошкоджень.

Виробничий процес у ЦХП-1 включає кілька ключових етапів:

- травлення: очищення поверхні рулонів від окалини шляхом хімічної обробки;
- холодна прокатка: обробка металу на станах для досягнення необхідних параметрів товщини, міцності та якості поверхні;
- обрізка країв: забезпечення точності розмірів рулонів і листів;
- фінішна обробка: нанесення захисних покриттів (цинкових, полімерних) і перевірка продукції на відповідність технічним вимогам.

ЦХП-1 впровадив сучасні методи контролю якості на всіх етапах виробничого циклу. Контроль здійснюється із застосуванням автоматизованих систем і сучасного лабораторного обладнання, що забезпечує відповідність продукції технічним умовам і стандартам якості. Однією з пріоритетних цілей діяльності цеху є мінімізація впливу на навколишнє середовище. Для цього в ЦХП-1 застосовуються: замкнуті цикли водопостачання, які знижують використання водних ресурсів і обсяги скидів; системи очищення відходів виробництва; технології зниження викидів шкідливих речовин у атмосферу.

1.2 Організація вантажно-розвантажувальних операцій у цеху холодного прокату

Вантажно-розвантажувальні роботи на металургійних підприємствах, зокрема в цеху холодного прокату, є важливим етапом виробничого процесу, що безпосередньо впливає на ефективність і швидкість обробки продукції. Вони виконуються за допомогою спеціалізованого обладнання, зокрема мостових кранів, що є основними механізмами для переміщення металевого про-

кату. Кожен проліт цеху забезпечений конкретним вантажопідіймальним краном, що дозволяє здійснювати обробку продукції в межах визначених робочих зон.

Для переміщення готової продукції між прольотами та між різними виробничими ділянками цеху застосовуються візки на залізничному ходу. Це дає змогу ефективно транспортувати важкі металічні вироби, не зупиняючи процесів навантаження та розвантаження на різних етапах виробничого циклу.

На рисунку 1.1 наведена загальна схема розташування кранів на прольотах цеху. У таблиці 1.1 наведена характеристика використовуваних кранів, а також їх закріплення за відповідними прольотами цеху. Це дозволяє чітко визначити можливості кожного крана та планувати вантажно-розвантажувальні роботи таким чином, щоб зменшити час на перевезення продукції та підвищити загальну ефективність виробничого процесу [2].

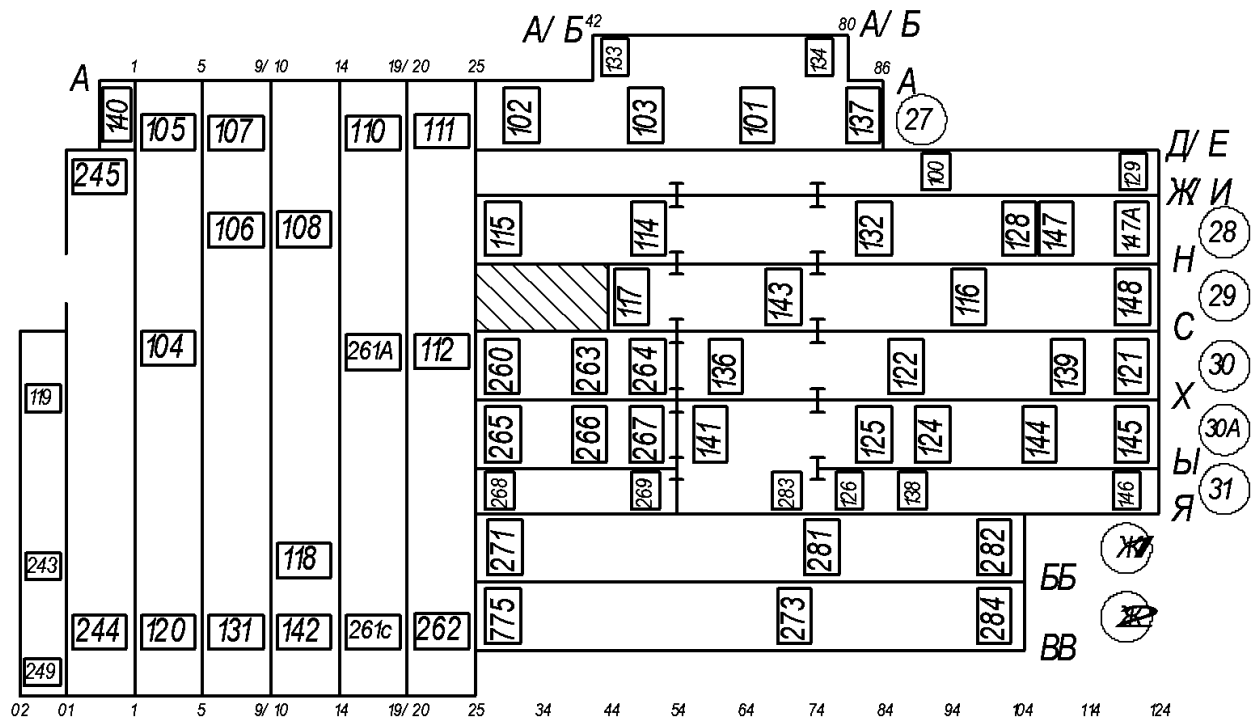


Рисунок 1.1 - Схематичне розташування мостових вантажопідіймальних кранів на території ЦХП-1

Таблиця 1.1 – Опис і розподіл мостових вантажопідіймальних кранів на ділянці приймання та відвантаження готової продукції ЦХП-1

Проліт	Рег. № крана	Вантажо- підйомність, т	Оснащення ел. магнітом
«А»-«Д/Е»	137	Q = 20	оснащений
	101	Q = 20	не оснащений
«Н»-«С»	148	Q = 30	не оснащений
«С»-«Х»	139	Q = 20	не оснащений
	121	Q = 20	не оснащений
«Х»-«И»	141	Q = 20	не оснащений
	125	Q = 20	не оснащений
	124	Q = 20	не оснащений
	144	Q = 20	не оснащений
	145	Q = 20	не оснащений
«И»-«Я»	126	Q = 20	не оснащений
	138	Q = 20	не оснащений
	146	Q = 20	не оснащений
«Я»-«ББ»	281	Q = 15	не оснащений
	282	Q = 10	не оснащений
«Б/Б»-«В/В»	273	Q = 6	не оснащений
	284	Q = 15	не оснащений
«1»-«5»	104	Q = 20	не оснащений
	105	Q = 20	не оснащений

В цеху холодного прокату №1 здійснюється процес завантаження рулонів двох видів: гарячекатаних і холоднокатаних. Холоднокатані рулони, пройшовши процес пакування, можуть бути розміщені на спеціальних дерев'яних піддонах забезпечення їх безпеки та збереження під час транспортування. У випадку розміщення рулонів на дерев'яних піддонах, вони додатково фіксуються за допомогою металевих пакувальних стрічок у кількості від трьох до шести штук, залежно від загальної довжини рулону.

Після пакування рулони переміщуються з території складу готової продукції за допомогою мостового крану на спеціальний транспортний засіб – трансферкару. Далі цей транспортний засіб подається до залізничних вагонів, де відбувається перевантаження рулонів у вагони з використанням іншого мостового крану. Гарячекатані рулони захоплюються автоматичними кліщами, що забезпечують надійність під час переміщення, тоді як для холоднокатаних рулонів використовується спеціальна скоба. Важливо, щоб ширина захвату скобою становила не менше трьох чвертей ширини самого рулону, що гарантує надійну фіксацію.

Процес завантаження холоднокатаних рулонів у вагон здійснюється в один ряд уздовж його довжини до досягнення максимальної вантажопідйомності або меншого навантаження, залежно від потреби. Для цього використовується два основних способи завантаження:

Укладання безпосередньо на металеві багатооборотні піддони, обладнані спеціальними упорами, без використання дерев'яних піддонів.

Завантаження рулонів на дерев'яні піддони, які розміщуються на тих самих металевих багатооборотних піддонах з упорами.

Після завершення завантаження рулони в піввагонах додатково фіксуються за допомогою упорних брусків. Це необхідно для забезпечення стабільності вантажу під час транспортування залізничним транспортом, що мінімізує ризики зміщення рулонів у процесі руху.

Гарячекатані рулони можуть бути закріплені у піввагоні за кількома методиками, кожна з яких враховує характеристики вантажу та особливості його транспортування. Основні способи закріплення передбачають надійне розміщення рулонів для запобігання їхньому зміщенню під час руху.

Рулони з відкритими торцями, які мають зовнішній діаметр до 1400 мм включно та вагу в межах від 4,3 до 6,0 тонн, розташовуються у піввагоні двома групами. Для цього використовують спеціальні підкладки з деревини, що мають переріз 50x150 мм. В окремих випадках можливе розміщення одного рулону по центру піввагона.

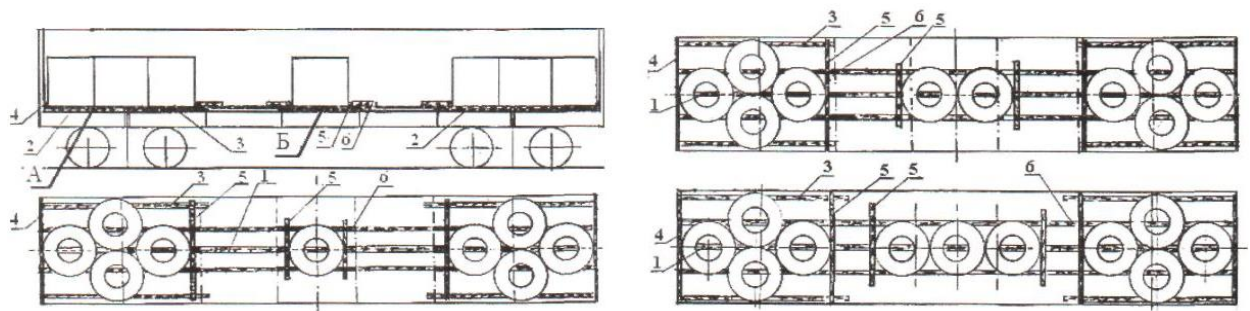


Рисунок 1.2 – Схеми розміщення рулонів у вагоні

У піввагоні укладають три основні підкладки уздовж довжини вагона. Вони розташовуються безпосередньо над хребтовою балкою, а також на відстані 300–350 мм від неї. У вздовж бічних стін вагона, на відстані 250–300 мм, укладають додаткові ряди підкладок. Кожен із цих рядів повинен бути достатньо довгим, щоб забезпечити стабільність рулонів усієї групи.

Підкладки монтують на кришки люків та хребтову балку, враховуючи місце розташування гофр поперечних балок піввагона. Щільно до торцевої стінки вагона встановлюють упорні бруски перерізом не менше 60x100 мм і довжиною 2800 мм. Ці бруски фіксують до підкладок цвяхами діаметром 5 мм і довжиною 150 мм, використовуючи по одному цвяху для кожного місця з'єднання.

Рулони розміщують таким чином, щоб вони щільно прилягали до торцевих брусків і поздовжніх стінок піввагона. Допустимі зазори між сусідніми рулонами або між рулоном і конструктивними елементами вагона не повинні перевищувати 50 мм. Одиночний рулон, якщо це передбачено, встановлюють по центру піввагона на три центральні підкладки.

Щоб запобігти поздовжньому зміщенню рулонів під час транспортування, кожна група вантажу додатково фіксується поперечними брусками. Вони виготовляються з деревини та мають переріз не менше 100x100 мм і довжину 2800 мм (або 1600 мм для деяких конфігурацій). Поперечні бруски прибивають до підкладок за допомогою двох цвяхів діаметром 6 мм і довжиною не менше 150 мм у кожному місці з'єднання. Для підвищення жорсткості конструкції упорні бруски підсилюють поздовжніми брусками, що мають розміри 60x100x500 мм. Їх також фіксують на підкладках за допомогою шести цвяхів однакового розміру.

Рулони більшої ваги – з відкритими торцями, зовнішнім діаметром до 1400 мм включно та масою від 6,0 до 8,0 тонн, розміщуються в піввагоні вже трьома групами. Для їх закріплення використовуються підкладки різних типів, що враховують вагу та розподіл навантаження. Упорні бруски встановлюють із використанням поперечних брусків, які додатково підсилюються поздовжніми елементами.

Цей підхід забезпечує надійність кріплення рулонів під час транспортування, знижує ризики пошкодження вантажу та гарантує його безпечне перевезення.

Розміщення підкладок виконується в певній послідовності, яка забезпечує надійність транспортування рулонів. На гофровану поверхню кришок люків і хребтову балку вздовж піввагона укладаються ряди вирівнювальних підкладок. Ці підкладки мають переріз 50x100 мм і довжину, що відповідає відстані між гофрами сусідніх поперечних балок піввагона. У торцевих частинах піввагона, під групи рулонів, розміщують чотири ряди вирівнювальних підкладок. Вони встановлюються на відстані 300–350 мм від осі хребтової

балки, а також 250–300 мм від бокових стін кузова вагона. У центральній частині кузова під центральну групу рулонів укладають два ряди вирівнювальних підкладок, які також розташовуються на відстані 300–350 мм від осі хребтової балки.

На вирівнювальні підкладки поперек кузова вагона, щільно до кожної торцевої стінки, встановлюються на ребро упорні бруски. Їх розміри становлять не менше 60x100x2800 мм. Для закріплення брусків вони прибиваються до підкладок цвяхами, діаметром 5 мм і довжиною 150 мм, по одному цвяху на кожне з'єднання.

Після цього на вирівнювальні підкладки укладаються основні підкладки, які мають переріз 50x150 мм і довжину, що перевищує поздовжній розмір групи рулонів. Це необхідно для встановлення упорних брусків. У торцевих частинах кузова основні підкладки розташовуються, починаючи від упорних брусків. У центральній частині кузова над хребтовою балкою розміщується основна підкладка, що має переріз 50x150 мм. Вона укладається між упорними брусками і простягається по всій довжині вагона.

Основні підкладки можуть виготовлятися з декількох частин, за умови їх стикування на поперечних балках або на вирівнювальних підкладках, які знаходяться безпосередньо під рулонами. Основні підкладки фіксуються до вирівнювальних за допомогою щонайменше трьох цвяхів діаметром 5 мм і довжиною 100 мм на кожне місце з'єднання.

Рулони розташовуються максимально щільно до торцевих упорних брусків та поздовжніх стін кузова піввагона.

Для запобігання поздовжньому зміщенню кожна група рулонів додатково фіксується поперечними упорними брусками. Вони мають переріз не менше 100x100 мм, а їх довжина відповідає ширині групи рулонів. Упорні бруски встановлюються впритул до рулонів і закріплюються до підкладок за допомогою двох цвяхів діаметром 6 мм і довжиною 150 мм у кожному місці з'єднання. Для посилення конструкції поперечні бруски доповнюються поздовжніми упорними брусками, які мають розміри не менше 50x100x500 мм.

Ці поздовжні бруски розміщуються на середніх підкладках і фіксуються шістьма цвяхами діаметром 6 мм і довжиною не менше 150 мм кожен.

Для транспортування холоднокатаного прокату між зонами обслуговування кранів в різних прольотах застосовуються спеціальні передавальні візки [3]. Вони переміщуються по рейкових коліях за допомогою електричного приводу. Процес розміщення металопрокату в рулонах та пачках на передавальних візках ілюструється на рисунках 1.3 та 1.4. Цей механізм забезпечує ефективну доставку матеріалу між різними точками виробничої лінії, оптимізуючи використання обладнання та підвищуючи продуктивність процесу.

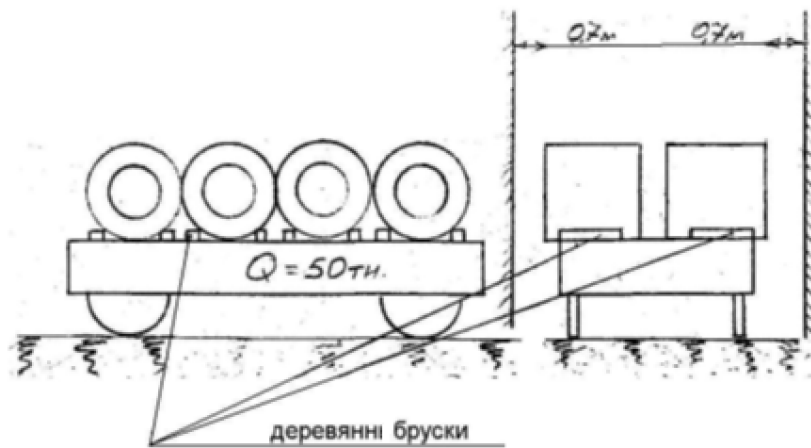


Рисунок 1.3 - Розміщення металопрокату в рулонах на передавальних візках

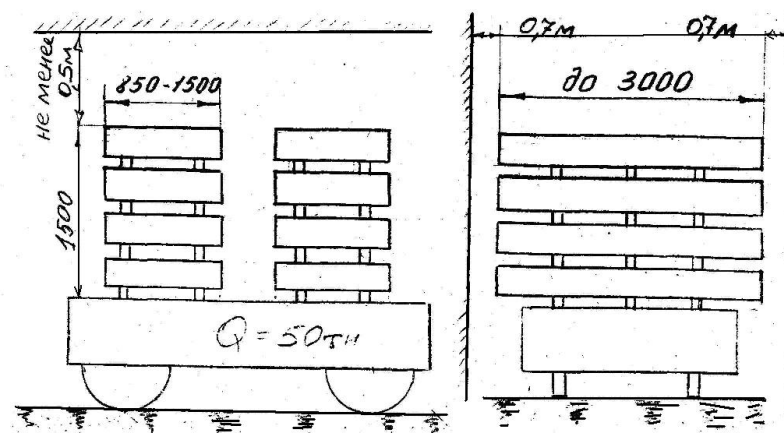


Рисунок 1.4 - Розміщення металопрокату в пачках на передавальних візках

1.3 Аналіз моделювання процесів відвантаження металопрокату на основі імітаційного підходу

Імітаційне моделювання є сучасним і ефективним інструментом для аналізу і оптимізації транспортно-логістичних процесів на металургійних підприємствах, зокрема в контексті відвантаження металопрокату у вагони. Ці підприємства характеризуються складними виробничими і логістичними системами, які повинні працювати синхронно для забезпечення безперебійного постачання продукції споживачам.

Процес відвантаження включає в себе формування партій металопрокату, подачу вагонів, завантаження продукції, оформлення документації та своєчасну відправку. Усі ці етапи залежать від багатьох змінних факторів, таких як обсяги замовлень, графіки подачі рухомого складу, наявність вантажно-розвантажувального обладнання та пропускна спроможність залізничної інфраструктури [4].

Традиційні методи планування часто виявляються недостатніми для аналізу таких комплексних процесів, оскільки не дозволяють у повній мірі врахувати динамічний характер взаємодії між елементами системи. Це призводить до неефективного використання ресурсів, затримок у відвантаженні, простоїв обладнання та невиконання термінів поставки. У такій ситуації імітаційне моделювання дозволяє не лише дослідити існуючу систему, а й випробувати різні сценарії її роботи в умовах змінних навантажень, варіантів організації процесів або обмежень у ресурсах.

Завдяки імітаційним моделям можна виявити вузькі місця в роботі логістичної системи, які сповільнюють процеси відвантаження. Наприклад, це можуть бути затримки, викликані обмеженою кількістю рухомого складу або недостатньою продуктивністю вантажно-розвантажувального обладнання.

Моделювання також дає змогу протестувати альтернативні варіанти організації роботи, такі як різні підходи до формування вагонних партій або

зміни графіка роботи кранів і трансферкарів. Це дозволяє оцінити ефективність кожного варіанту та обрати найкращий з точки зору витрат, часу і використання ресурсів.

Особливу цінність імітаційне моделювання має у випадках, коли необхідно планувати діяльність у режимі реального часу. Для металургійних підприємств це важливо, адже виробництво і відвантаження металопрокату мають відповідати оперативним змінам у замовленнях або умовах перевезень. Наприклад, різке збільшення обсягів замовлень або необхідність організації перевезення новими маршрутами може потребувати швидкої адаптації системи. За допомогою моделювання можна оцінити наслідки таких змін і знайти оптимальні рішення для їх реалізації.

Таким чином, імітаційне моделювання є актуальним і стратегічно важливим інструментом для металургійних підприємств, які прагнуть підвищити ефективність своїх транспортно-логістичних систем. Завдяки цьому методу підприємства можуть не лише оптимізувати свої процеси, але й забезпечити конкурентоспроможність у сучасних умовах ринку [5].

Основні етапи створення імітаційної моделі для дослідження транспортно-логістичних процесів на металургійному підприємстві можна поділити на кілька ключових етапів.

Визначення мети і завдань моделювання. На цьому етапі необхідно чітко сформулювати, яку саме проблему потрібно вирішити за допомогою моделювання. Це можуть бути оптимізація процесу відвантаження, зниження витрат на транспортування, підвищення ефективності використання ресурсів (крани, локомотиви, трансферкарні візки), визначення "вузьких місць" у системі або тестування різних сценаріїв.

Аналіз та опис існуючої системи. На цьому етапі збирається вся необхідна інформація про поточні процеси, їх характеристики та параметри (наприклад, час навантаження, інтервали між відправками, обсяги вантажів, кількість вагонів). Потрібно визначити всі елементи системи, їх взаємодію, а

також фактори, що можуть впливати на ефективність роботи (наприклад, наявність затримок або обмежень у потужностях).

Створення концептуальної моделі. Це процес побудови абстрактної моделі системи, в якій визначаються основні компоненти (агенти, ресурси, процеси) та їх взаємодія. На цьому етапі розробляються основні елементи, такі як джерела продукції, трансферкарні візки, крани, локомотиви та інші ресурси, а також алгоритми їх взаємодії.

Розробка математичної моделі. Цей етап включає опис процесів у вигляді математичних рівнянь або алгоритмів. Наприклад, можна розробити моделі для визначення тривалості навантаження, часу переміщення між етапами процесу або обчислення завантаженості ресурсів.

Створення моделі в програмному забезпеченні (напр. AnyLogic). На цьому етапі реалізується імітаційна модель у вибраному програмному забезпеченні для моделювання, зокрема в AnyLogic. Це передбачає налаштування агентів, визначення параметрів ресурсів, розробку логіки для переміщення агентів, запуск процесів і взаємодії між різними елементами моделі.

Верифікація і валідація моделі. На цьому етапі проводиться перевірка правильності роботи моделі. Верифікація включає перевірку коректності математичних алгоритмів та їх реалізації в програмі, а валідація – порівняння результатів моделювання з реальними даними або результатами, отриманими іншими методами.

Проведення експериментів та аналіз результатів. Після створення моделі і її верифікації проводяться експерименти, які дозволяють перевірити ефективність різних варіантів організації процесів. Це може включати зміну кількості ресурсів, варіанти зміни графіків роботи, перевірку різних сценаріїв на навантаження, обсяги відвантаження тощо.

Оцінка результатів і розробка рекомендацій. Після проведення експериментів проводиться аналіз результатів, порівняння з початковими цілями моделювання і розробка рекомендацій для вдосконалення існуючої системи.

Рекомендації можуть стосуватися як організації процесів, так і параметрів ресурсів або змін у самому виробничому процесі.

Впровадження і моніторинг. Після отримання результатів і рекомендацій наступним кроком є впровадження змін у реальну систему та моніторинг їх ефективності на практиці. Цей етап також включає подальшу корекцію моделі в разі необхідності.

Моделювання різних сценаріїв та їх порівняння є важливим етапом у процесі розробки та оптимізації транспортно-логістичних систем. Імітаційне моделювання дозволяє створити кілька варіантів розвитку ситуацій, що дає можливість оцінити ефективність різних рішень в умовах реальних обмежень та невизначеності. У контексті відвантаження металопрокату в вагоні, порівняння сценаріїв дозволяє не лише оптимізувати процеси навантаження, а й покращити використання ресурсів та скоротити витрати на транспортування.

Першим кроком у моделюванні різних сценаріїв є визначення параметрів, які можуть змінюватися. Це можуть бути різні значення для кількості ресурсів, наприклад, кранів, локомотивів або трансферкарних візків, а також зміни в інтервалах відправлення, часах навантаження або розмірах партій. Кожен з цих параметрів має вплив на кінцевий результат, і зміна хоча б одного з них може призвести до значних змін у характеристиках процесу.

Моделювання сценаріїв дозволяє протестувати різні варіанти організації процесу відвантаження металопрокату. Наприклад, один сценарій може передбачати використання меншої кількості ресурсів, що дозволить заощадити на їх обслуговуванні та експлуатації, але, можливо, збільшить час навантаження і затримки. Інший сценарій може передбачати збільшення кількості ресурсів для прискорення процесу, але це потребує більших витрат на їх утримання та експлуатацію. Порівнюючи ці варіанти, можна визначити оптимальний баланс між витратами на ресурси та часом, необхідним для виконання операцій.

Крім того, моделювання різних сценаріїв дозволяє врахувати варіативність умов, які можуть виникати в реальних ситуаціях. Наприклад, зміна по-

питу на металопрокат, коливання у графіках роботи транспортних засобів або зміни в організації роботи складів можуть суттєво вплинути на ефективність системи. Імітаційне моделювання дає змогу передбачити ці зміни і підготувати систему до можливих варіантів розвитку подій.

Порівняння результатів моделювання різних сценаріїв здійснюється за допомогою встановлених критеріїв ефективності, таких як час навантаження, витрати на ресурси, рівень завантаженості та інші показники. Завдяки цьому можна обрати найбільш вигідний сценарій для конкретних умов, враховуючи економічні, часові та ресурсні обмеження.

Загалом, моделювання та порівняння різних сценаріїв є потужним інструментом для виявлення найбільш ефективних рішень, оптимізації процесів і покращення управління ресурсами на металургійних підприємствах, що дозволяє знижувати витрати та підвищувати продуктивність.

1.4 Аналіз існуючих обсягів відвантаження металопрокату з ЦХП-1

Для ефективного аналізу та вдосконалення транспортно-логістичної системи відвантаження металопрокату з ЦХП-1 необхідно почати з ретельного вивчення існуючих вантажопотоків. Зібрані статистичні дані, що відображають обсяги відправлень металопрокату в рулонах та пачках (таблиці 1.2 та 1.3), дозволяють сформувати детальне уявлення про поточні показники вантажопотоків на підприємстві. Розрахунок середньодобових обсягів відправлень, представлений у таблиці 1.4, дає змогу оцінити коливання обсягів протягом місяця, а графічне відображення цих даних (рис. 1.6) показує їх динаміку. Вивчення місячних обсягів вантажопотоків (табл. 1.5 та рис. 1.7) дозволить виявити сезонні та інші тренди в організації відвантажень.

На основі отриманих результатів аналізу, наступним етапом буде застосування імітаційного моделювання для більш глибокого вивчення транс-

портно-логістичної системи. Імітаційне моделювання дозволить змоделювати різні сценарії зміни вантажопотоків та їхнього впливу на загальну ефективність системи, що дасть змогу оптимізувати процеси відвантаження і доставки металопрокату.

Таблиця 1.2 - Дані щодо обсягів відвантаження металопрокату у рулонах з ЦХП-1

День	Місяць											
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень
1	594	120	579	452	845	887	1211	585	440	1448	526	853
2	940	410	517	774	1583	582	925	701	1355	987	1184	910
3	388	322	473	1045	798	455	385	857	514	991	1302	1559
4	869	323	642	862	658	370	264	833	1191	852	928	1021
5	1038	448	655	996	569	325	382	924	852	442	1322	1312
6	401	458	313	1063	837	393	330	736	453	1038	901	1192
7	586	743	795	879	510	552	736	1003	708	591	542	777
8	322	778	334	588	465	493	406	193	906	326	771	1255
9	645	640	434	950	594	762	268	331	521	739	580	930
10	650	699	264	1131	452	382	591	719	861	984	859	1574
11	657	899	322	323	839	564	994	867	324	197	253	536
12	932	790	650	917	1057	833	197	791	929	657	321	1079
13	545	723	853	578	1235	1452	809	197	334	309	524	371
14	446	1003	534	700	793	1192	729	400	736	198	1037	1481
15	514	533	327	1378	721	747	411	669	311	267	391	602
16	873	529	464	796	1048	1005	533	662	393	463	1429	578
17	400	1552	634	1404	445	812	507	595	394	203	317	475
18	710	327	339	476	767	933	827	535	906	581	929	896
19	318	772	506	400	577	674	266	437	583	704	512	518
20	522	472	597	673	320	1122	840	874	398	332	502	1045
21	587	455	463	851	865	637	715	264	923	606	394	568
22	724	599	267	454	1202	1822	977	776	926	454	1050	699
23	201	577	727	656	1175	641	528	847	997	798	706	395
24	730	646	842	527	717	1893	1414	848	805	786	654	1033
25	1441	1002	739	187	1419	776	1172	534	599	980	841	822
26	400	1033	396	789	719	1252	1766	1046	1240	588	1078	969
27	625	931	732	719	827	898	867	709	646	711	1238	993
28	1091	1075	519	573	1343	1774	1736	1070	766	1255	1166	751
29	334		1143	676	598	1378	1591	989	645	191	736	1021
30	317		535	668	517	1297	1494	912	830	1580	1407	1104
31	261		1240		896		1551	1113		1024		842

Таблиця 1.3 - Дані щодо обсягів відвантаження металопрокату у пачках з ЦХП-1

День	Місяць											
	сі- чень	лю- тий	бере- зень	кві- тень	тра- вень	чер- вень	ли- пень	сер- пень	вере- ре- сень	жо- вте- нь	лис- то- пад	гру- день
1	316	2452	1094	586	520	1166	633	394	652	1035	847	787
2	788	828	920	1468	967	762	1100	969	838	621	581	705
3	1047	1037	656	1093	1093	1047	390	773	468	789	990	1335
4	1177	889	1032	1029	651	779	1178	1148	647	1332	1047	588
5	1241	899	1232	1294	896	1931	774	1231	833	196	985	704
6	1357	840	1439	1809	569	952	1099	920	966	1049	714	853
7	1154	641	1285	777	524	1095	1496	1303	1246	869	572	120
8	521	381	781	514	779	966	1249	913	979	647	1593	394
9	1556	523	1541	1184	976	777	597	1764	1238	1311	1504	855
10	1486	958	1559	1481	440	771	1754	1197	1230	787	1090	778
11	893	458	2331	641	1117	1149	840	1160	851	1294	788	890
12	912	510	969	1360	836	855	708	1232	1748	1538	1545	1047
13	1679	787	1180	585	1032	913	1517	1314	714	838	1278	459
14	976	899	1352	1292	1045	575	766	1055	2394	911	1357	1481
15	1486	911	880	896	1037	835	1210	1156	328	1498	1222	1225
16	839	457	1870	318	1503	770	648	1309	1423	1350	1682	1036
17	1048	920	762	1337	403	715	197	1180	588	710	777	1550
18	782	523	120	906	726	977	1047	1157	1635	1113	1045	896
19	1288	1507	968	389	1564	960	718	1435	1105	1359	1220	1042
20	831	871	1295	1118	1212	440	852	1043	511	1686	1678	1635
21	1013	1095	2056	1777	973	717	985	1085	1888	1414	1669	1869
22	1091	587	519	587	641	840	1558	653	462	1873	1037	908
23	908	1146	898	905	843	257	321	447	1117	323	1018	779
24	1077	840	724	1049	403	904	644	1425	1640	1283	591	1148
25	773	520	905	1291	1103	381	775	895	1034	1095	1562	1102
26	516	1149	1354	1237	653	1288	465	600	985	1421	964	1230
27	1034	982	786	1112	260	197	768	719	1427	1042	708	1683
28	1095	1041	913	1168	776	333	843	706	847	1504	1501	955
29	697		1099	1555	1090	397	966	594	1176	586	831	905
30	1369		451	580	1428	777	644	252	1560	1815	913	1422
31	1412		701		772		653	687		1297		1228

Згідно наведених даним визначаємо середньодобові обсяги відправлень металопрокату в рулонах та в пачках по дням місяця. Результати наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Середні обсяги відправок за добу

День	Обсяг за добу, т		всього	День	Обсяг за добу, т		всього
	рулони	пачки			рулони	пачки	
1	776	794	1570	17	585	580	1165
2	948	987	1934	18	716	750	1466
3	831	863	1694	19	518	519	1037
4	760	770	1530	20	668	674	1342
5	777	788	1566	21	627	642	1269
6	721	758	1479	22	860	914	1773
7	709	701	1409	23	742	743	1484
8	573	595	1168	24	948	958	1905
9	611	628	1239	25	813	820	1633
10	780	827	1607	26	980	1033	2014
11	526	544	1070	27	833	842	1675
12	745	754	1498	28	1095	1147	2243
13	666	649	1314	29	886	862	1748
14	779	801	1581	30	1021	1065	2086
15	582	605	1186	31	658	606	1264
16	737	761	1498				

Графічне відображення динаміка середньодобових відправлень металопрокату на протязі місяця наведене на рис 1.6.

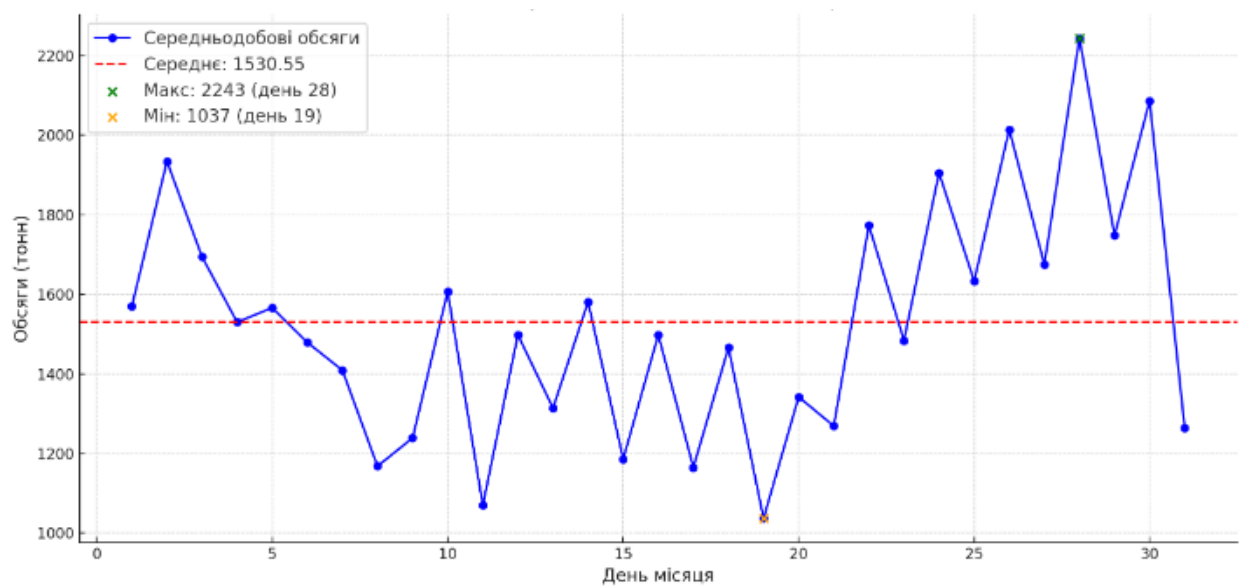


Рисунок 1.6 – Динаміка середньодобових відправлень металопрокату на протязі місяця

Проаналізуємо загальні обсяги відправлень прокату на місяць . Сумарні результати та графічне відображення обсягів відправлень в залежності від місяця наведені у табл. 1.5 та на рис. 1.7.

Таблиця 1.5 – Загальні обсяги відправлень на місяць

Місяць	Рулони, т	Пачки, т	Всього
Січень	19061	32362	51423
Лютий	18859	24651	43510
Березень	17835	33672	51507
Квітень	22485	31338	53823
Травень	25391	26832	52223
Червень	26903	24526	51429
Липень	25422	27395	52817
Серпень	22017	30716	52733
Вересень	21486	32530	54016
Жовтень	21282	34586	55868
Листопад	24400	33309	57709
Грудень	28161	31609	59770
Усього за рік	273302	363526	636828

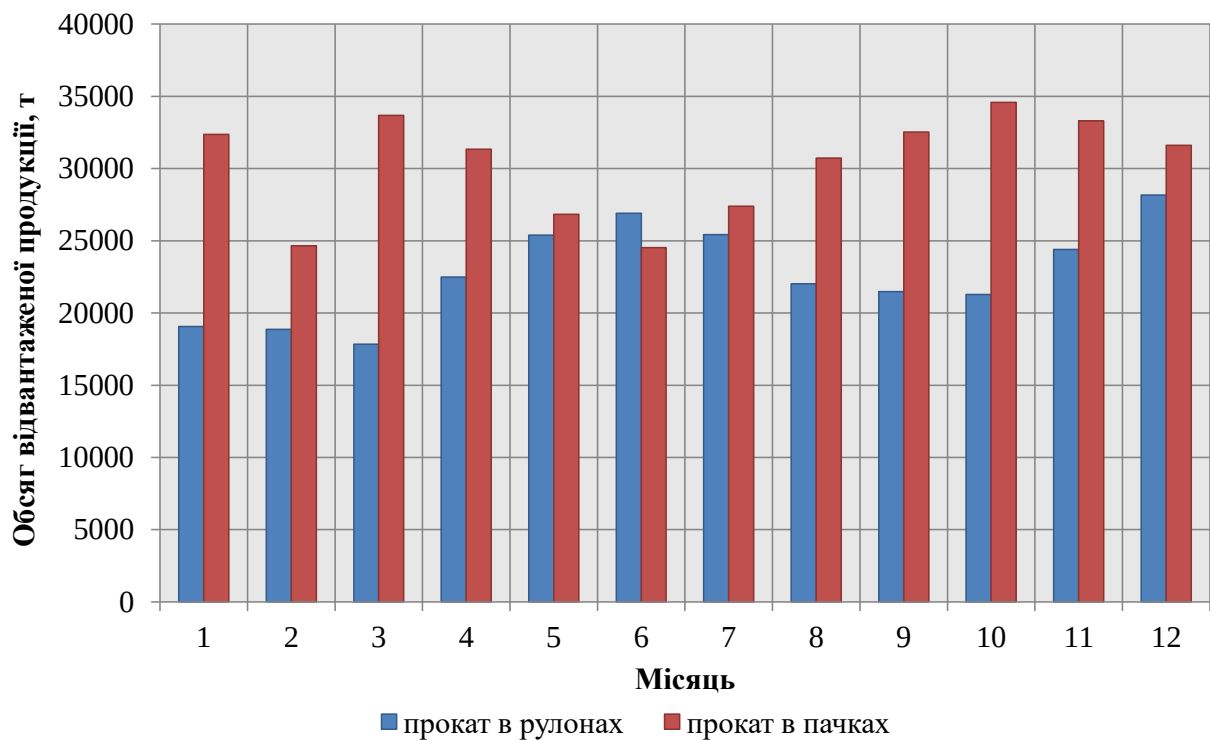


Рисунок 1.7 - Обсяг відвантаження прокату за місяцями

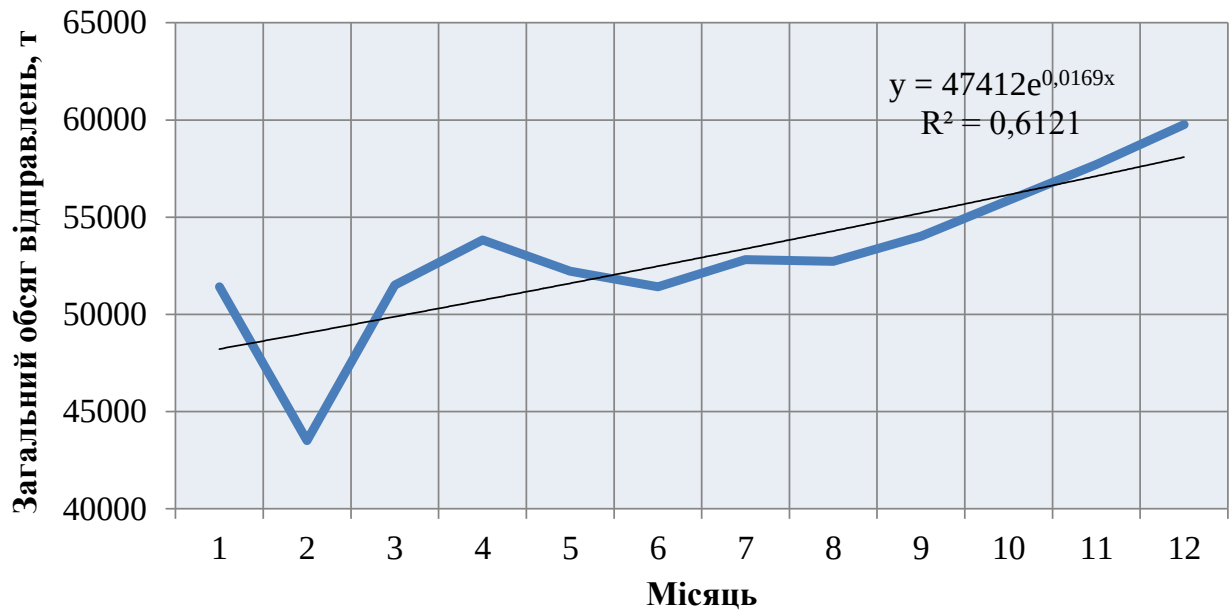


Рисунок 1.8 - Графік середньомісячних обсягів відправлень металопрокату

За графіком можемо спостерігати чіткий тренд із зростанням обсягів відправок металопродукції у весняно-осінній періоді та піком у грудні.

На основі представлених даних обсягів відправлень металопрокату в середньомісячному розрізі можна зробити наступні висновки.

Протягом року спостерігається загальна тенденція до зростання обсягів відправлень, починаючи від січня до грудня. У грудні зафіксовано максимальне значення обсягів — 59770 тонн, що на 16.23% більше, ніж у січні.

У лютому спостерігається найнижчий обсяг відправлень — зменшенням 43510 тонн. Це може бути пов'язано із сезонними факторами, наприклад, активності внаслідок зимових свят чи погодних умов.

З початком весни (березень і квітень) обсяги різко збільшуються, що може бути пов'язано зі збільшенням виробничої активності на початку сезону. Значний ріст відправлень помітний у жовтні та листопаді. Це типовий період завершення будівництва перед зимою та активності підприємств. У літні місяці (червень, липень, серпень) обсяги залишаються стабільними. Це може бути періодом зниження темпів роботи через відпустки або зменшення виробничого попиту.

Найрізкіший приріст обсягів спостерігається з лютого на березень (+18.37%) та з листопада на грудень (+3.45%). Найменші зміни відзначено між сусідніми літніми місяцями, наприклад, липнем та серпнем (-0.16%).

Низькі показники в січні-лютому можуть бути пов'язані зі святами, зимовими погодними умовами або сезонним скороченням попиту.

Підвищення активності навесні – березень-квітень свідчать про відновлення виробництва та зростання потреб у металопрокаті.

Осінній пік – жовтень-листопад характеризуються високим попитом, можливо, через завершення контрактів або виконання річних планів.

1.5 Виявлення недоліків існуючої системи та постановка завдань дослідження

Ефективність транспортно-логістичної системи значною мірою залежить від збалансованості процесів планування, організації вантажопотоків та раціонального використання ресурсів. Проте в сучасній системі відправлення металопрокату з цеху холодного прокату №1 (ЦХП-1) ПАТ «Запоріжсталь» спостерігаються певні недоліки, які впливають на продуктивність та стабільність її роботи. На основі попереднього аналізу та зібраних даних було виявлено такі основні недоліки:

- існуючий розподіл вантажів між трансферкарними візками, мостовими кранами та локомотивами є недостатньо оптимальним, що призводить до простоїв або перевантаження окремих елементів системи;
- формування великих партій для відправлення іноді викликає затримки в обробці вантажів, що може негативно впливати на виконання графіка відправлень;

- існуюча система погано реагує на зміни обсягів відправлень або нерівномірність потоків вантажів, що спричиняє перевантаження окремих елементів або простої;

- існуюча система лише частково використовує можливості автоматизованих систем керування для моніторингу та оптимізації процесів.

Ці недоліки призводять до зниження ефективності функціонування системи, збільшення операційних витрат та негативно впливають на конкурентоспроможність підприємства.

Метою даного дослідження є вдосконалення транспортно-логістичної системи відправлення металопрокату з ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь» шляхом оптимізації використання ресурсів, скорочення затримок і підвищення продуктивності системи. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючої системи з урахуванням її основних параметрів і виявленням вузьких місць у процесі організації вантажопотоків;

- розробити імітаційну модель транспортно-логістичної системи, що дозволить оцінити ефективність існуючого підходу та експериментально перевірити різні варіанти її вдосконалення;

- визначити оптимальні параметри роботи системи (розмір партій, кількість ресурсів, частоту відправлень тощо) на основі результатів моделювання;

- запропонувати практичні рекомендації щодо вдосконалення існуючої системи з урахуванням отриманих результатів.

Реалізація цих завдань дозволить значно підвищити ефективність роботи системи, мінімізувати втрати часу і ресурсів, а також забезпечити стабільність і високу якість обслуговування клієнтів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Статистична обробка вихідних даних щодо відвантаження продукції з ЦХП-1

Динаміка вантажопотоків відображає їх зміни у часі. Ці зміни є випадковими, і для їх кількісної оцінки застосовуються різноманітні статистичні методи. Основними характеристиками цього процесу є:

Математичне очікування – середнє значення змін величини вантажопотоку, яке можна визначити за допомогою формули [6]:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.1)$$

де n – кількість спостережень;

X_i – значення вантажопотоку у відповідний момент часу, $k = 1, 2, \dots, m$.

Дисперсія – міра розсіяння величин навколо математичного очікування, яка обчислюється за формулою:

$$\tilde{D} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2. \quad (2.2)$$

Стандартне відхилення – це квадратний корінь з дисперсії, що дає змогу оцінити середнє відхилення значень від математичного очікування. Формула для обчислення стандартного відхилення виглядає так:

$$\tilde{\delta} = \sqrt{\tilde{D}}. \quad (2.3)$$

Коефіцієнт варіації – показник, що дає змогу порівнювати варіативність різних процесів, незалежно від їх одиниць вимірювання. Він розраховується як відношення стандартного відхилення до математичного очікування:

$$\nu = \frac{\tilde{\delta}_Q}{\tilde{m}_Q} \cdot 100\% . \quad (2.4)$$

Ці статистичні характеристики дозволяють оцінити ступінь варіативності вантажопотоків і зробити висновки про стабільність або нестабільність процесу транспортування вантажів.

2.1.1 Статистичний аналіз інтервалів відправлень металопрокату

Ранжований ряд досліджуваної вибірки №1 значень має вигляд:

6,00; 7,17; 7,50; 7,75; 8,00; 8,25; 8,50; 8,50; 8,83; 9,50; 9,50; 9,83; 9,83; 10,00; 10,00; 10,00; 10,17; 10,17; 10,17; 10,25; 10,33; 10,33; 10,50; 10,50; 10,67; 10,67; 10,67; 10,67; 10,83; 10,83; 10,92; 11,00; 11,25; 11,33; 11,33; 11,33; 11,33; 11,50; 11,50; 11,50; 11,67; 11,67; 11,75; 11,83; 12,00; 12,00; 12,00; 12,00; 12,00; 12,00; 12,00; 12,00; 12,17; 12,17; 12,17; 12,17; 12,33; 12,33; 12,50; 12,50; 12,67; 12,67; 12,83; 12,83; 13,00; 13,00; 13,00; 13,00; 13,00; 13,00; 13,00; 13,17; 13,17; 13,33; 13,50; 13,67; 13,67; 13,83; 13,83; 13,83; 14,00; 14,00; 14,50; 14,67; 14,75; 14,75; 15,00; 15,17; 15,67; 15,67; 15,67; 15,75; 16,42; 16,50; 17,00; 17,00; 18,00; 19,00; 21,83; 24,00

Визначені статистичні характеристики:

Середнє значення	12,33	Стандартне відхилення	2,8
Дисперсія	7,81	Коефіцієнт варіації	22,66

Таким чином величина, інтервалів відправлень металопрокату підпорядковується нормальному закону розподілу

Спершу проаналізуємо величину кількості вагонів з рулонами в партії.
Ранжований ряд досліджуваної вибірки значень №2 має вигляд:

3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 3; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 5; 5; 5; 5; 5; 5;
5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 7; 7; 7; 7; 7; 7;
7; 7; 7; 7; 8; 8; 8; 8; 8; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 10; 10; 10; 11; 11; 12; 12; 12; 12;
16.

Визначені статистичні характеристики:

Середнє значення	6,32	Стандартне відхилення	2,57
Дисперсія	6,59	Коефіцієнт варіації	40,6

Графічне представлення закону розподілу наведене на рисунку 2.2.

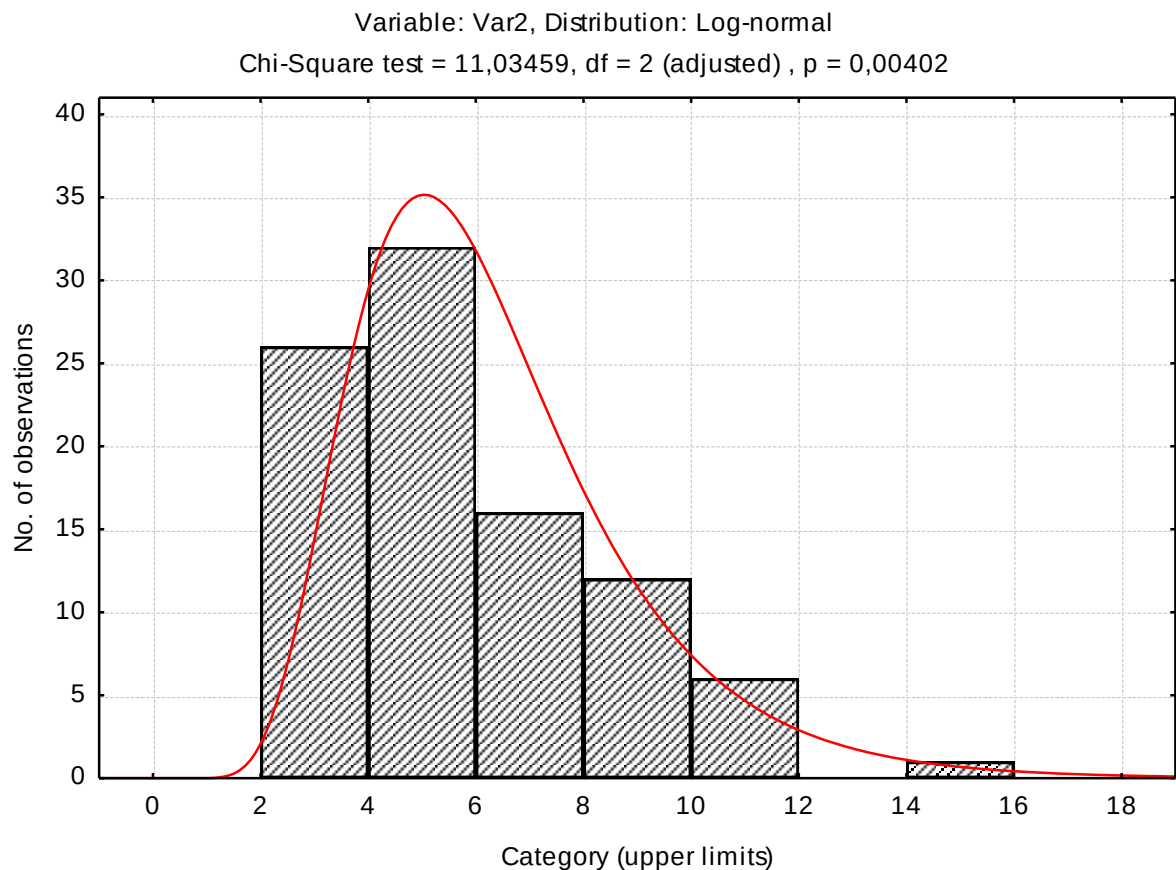


Рисунок 2.2 – Графічна інтерпретація закону розподілу випадкової величини кількості вагонів з рулонами в партії

Ранжований ряд значень кількості вагонів з пачками в партії (вибірка №3):

3; 3; 3; 3; 3; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 4; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 5; 6; 6; 6; 6;
6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 6; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 7; 8; 8; 8; 8; 8; 8; 8; 8; 8; 8;
8; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 11; 11; 11; 11; 11; 11;
11; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 13; 13; 13; 14; 15; 15.

Визначені статистичні характеристики:

Середнє значення	7,61	Стандартне відхилення	2,99
Дисперсія	8,92	Коефіцієнт варіації	39,23

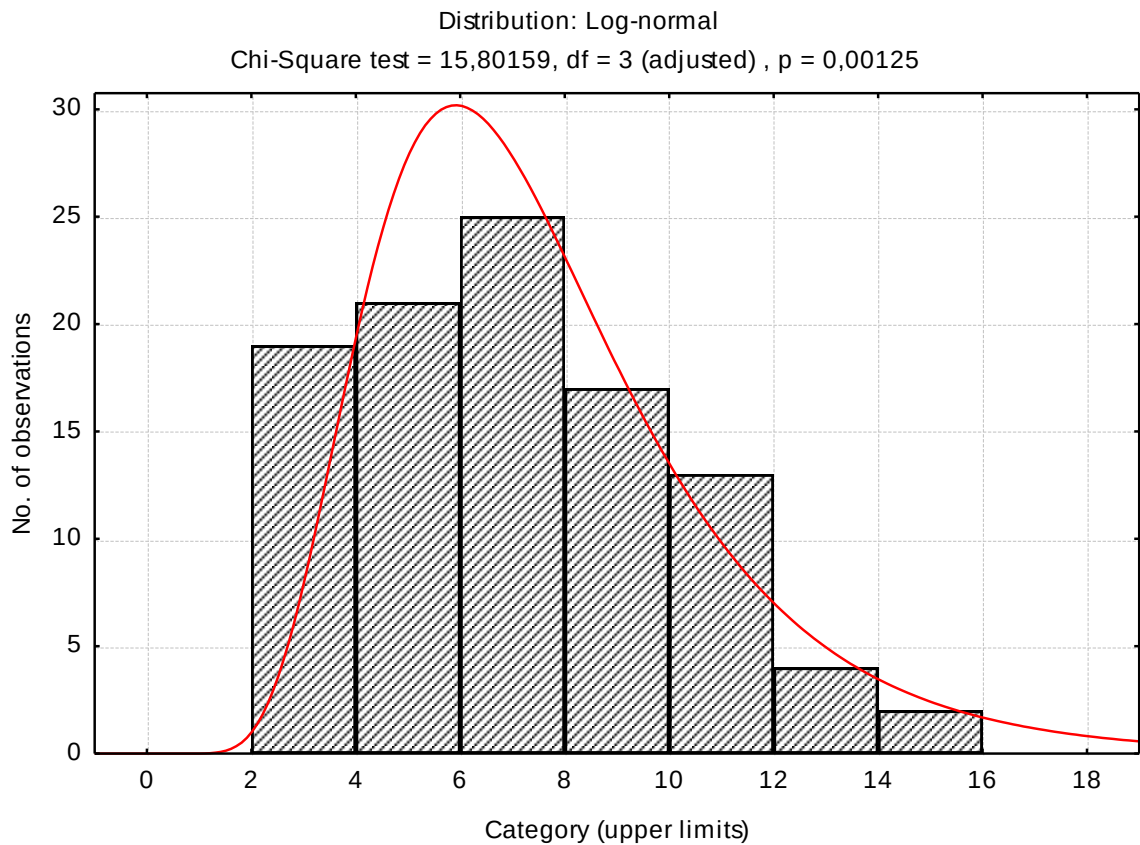


Рисунок 2.3 – Графічна інтерпретація закону розподілу випадкової величини кількості вагонів з пачками в партії

Ранжований ряд значень загальної кількості вагонів в подачі (вибірка №4):

5; 5; 6; 7; 7; 7; 8; 8; 8; 9; 9; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 10; 11; 11; 11; 11; 11; 11; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 12; 13; 13; 13; 13; 13; 13; 13; 13; 13; 13; 13; 13; 14; 14; 14; 14; 14; 14; 14; 14; 14; 15; 15; 15; 15; 15; 15; 15; 15; 16; 16; 16; 16; 16; 16; 16; 16; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 18; 18; 18; 18; 19; 19; 19; 20; 21; 21; 23; 25.

Визначені статистичні характеристики:

Середнє значення	13,36	Стандартне відхилення	3,69
Дисперсія	13,64	Коефіцієнт варіації	27,65

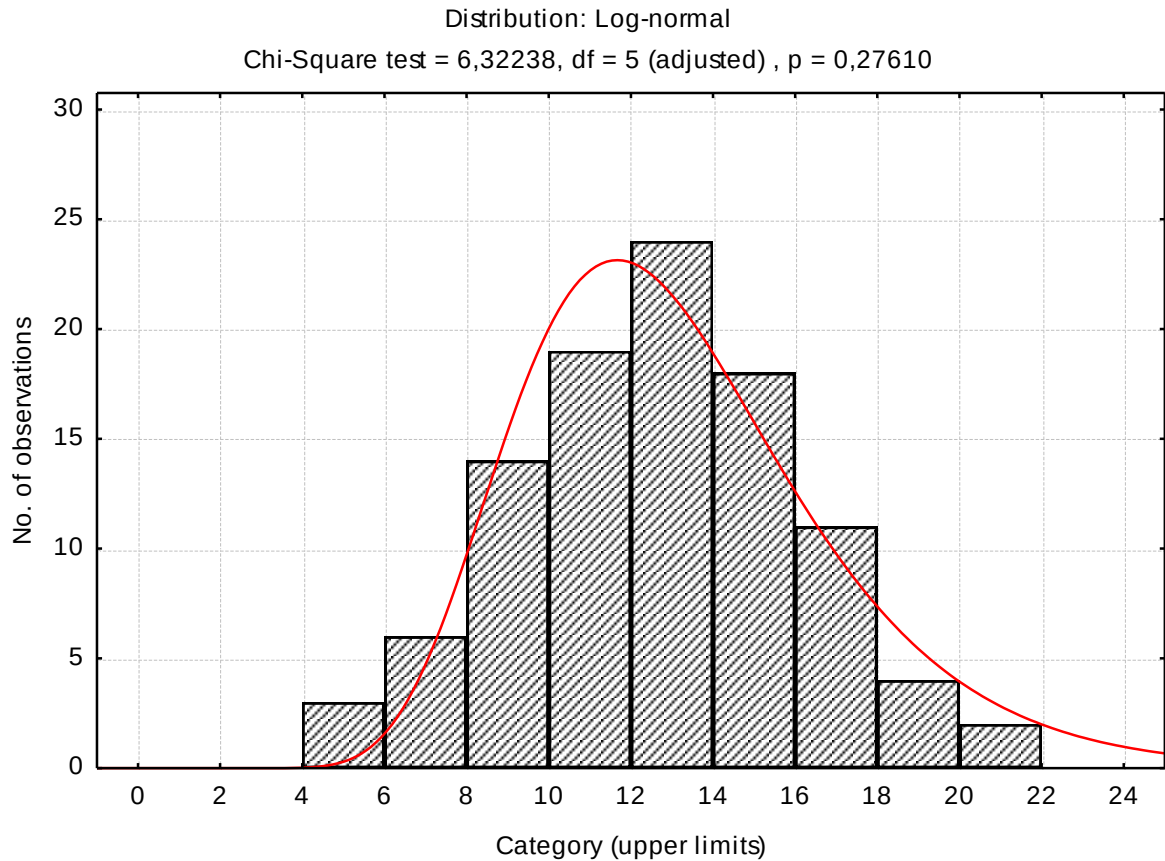


Рисунок 2.4 – Графічна інтерпретація закону розподілу випадкової величини загальної кількості вагонів в подачі

2.1.3 Статистичний аналіз тривалості простою вагонів під навантаженням

Визначимо основні статистичні характеристики для величини тривалості простою вагонів під навантаженням металопрокату в рулонах (ранжований ряд значень наведений у додатку Д).

Визначені статистичні характеристики:

Середнє значення	10,49	Стандартне відхилення	3,17
Дисперсія	10,02	Коефіцієнт варіації	30,17

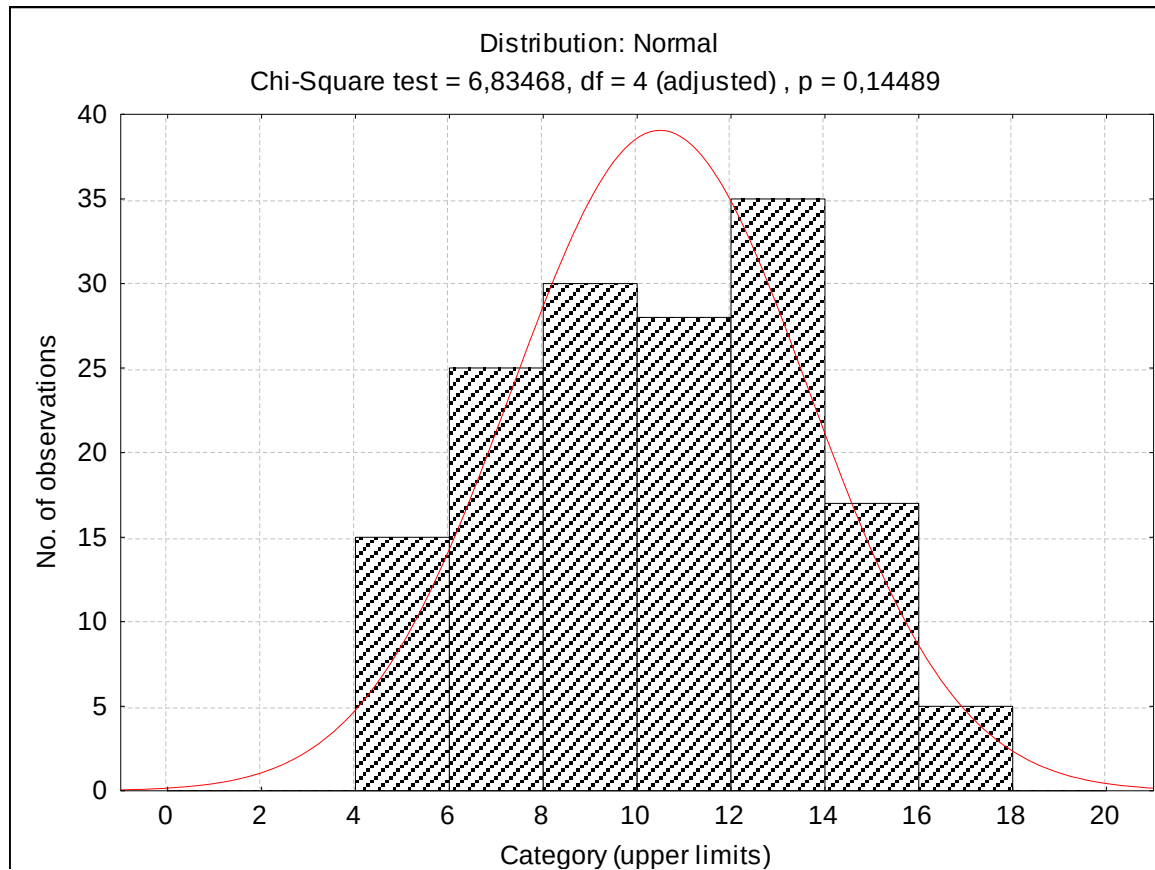


Рисунок 2.5 – Графічна інтерпретація закону розподілу випадкової величини тривалості простою вагонів під навантаженням металу в рулонах

Для величини тривалості простою вагонів під навантаженням металопрокату в пачках:

Визначені статистичні характеристики:

Середнє значення	10,15	Стандартне відхилення	3,37
Дисперсія	11,35	Коефіцієнт варіації	33,18

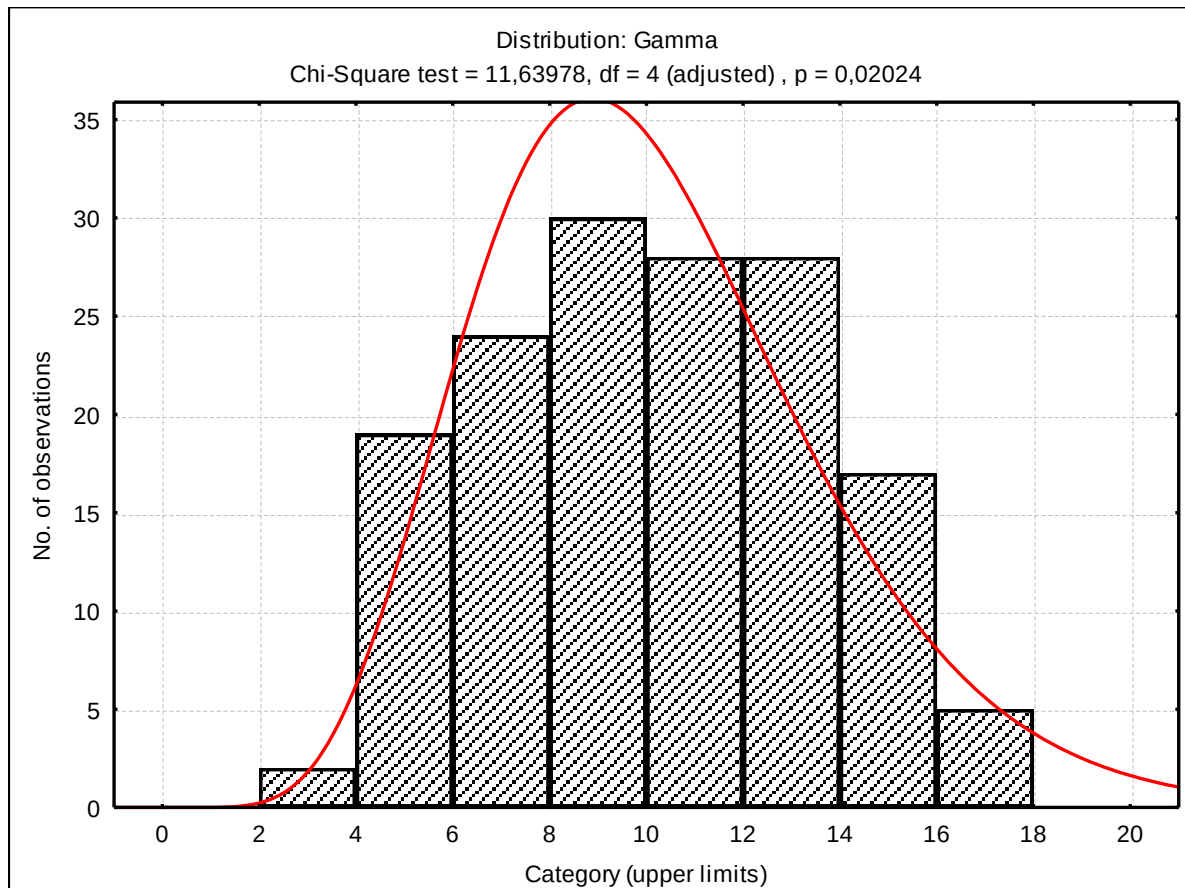


Рисунок 2.6 – Графічна інтерпретація закону розподілу випадкової величини тривалості простою вагонів під навантаженням металу в пачках

Отже в середньому простій вагону під навантаженням за базовим варіантом функціонування транспортно-логістичної системи складає 10,3 год.

Таблиця 2.1 - Результати статистичного аналізу величин

Статистична характеристика	Вибірка					
	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Мінімальне значення	6,00	3,00	3,00	5,00	4,67	2,17
Максимальне значення	24,00	16,00	15,00	25,00	17,17	17,17
Математичне очікування	12,33	6,32	7,61	13,36	10,49	10,15
Дисперсія	7,81	6,59	8,92	13,64	10,02	11,35
Стандартне відхилення	2,80	2,57	2,99	3,69	3,17	3,37
Коефіцієнт варіації	22,67	40,60	39,22	27,65	30,17	33,18

2.2 Створення імітаційної моделі транспортно-логістичної системи відправки металопрокату

Імітаційне моделювання є ключовим інструментом для аналізу та оптимізації логістичних процесів, зокрема в галузі транспортного забезпечення підприємств. У даній роботі розроблено імітаційну модель, що дозволяє дослідити процеси обробки двох типів продукції – металу в рулонах та металу в пачках. Модель створена на базі програмного забезпечення AnyLogic, що забезпечує візуалізацію, параметризацію та аналіз логістичних операцій.

Основною метою моделі є імітація всіх етапів технологічного процесу, починаючи від генерації продукції, її обробки за допомогою різних типів ресурсів (трансферкарні візки, крани, локомотиви), накопичення партій вагонів та формування загальної подачі для відправлення до станції призначення. Такий підхід дозволяє не лише оцінити ефективність існуючих технологічних схем, але й провести експериментальні розрахунки для оптимізації параметрів роботи системи.

Для коректного відтворення процесів у моделі реалізовано:

- створення окремих типів агентів для кожного виду продукції;
- введення основних ресурсів (трансферкарні візки, крани, локомотиви) із можливістю зміни їх кількості через параметри моделі;
- деталізація основних технологічних операцій, таких як переміщення продукції до вагонів, навантаження, закріплення та формування партій.

Крім того, у моделі передбачено використання елементів управління, що дозволяють змінювати кількість ресурсів, розміри партій, тривалість операцій тощо. Це забезпечує гнучкість і дозволяє адаптувати модель до різних сценаріїв роботи.

Нижче подано детальний опис основних етапів та структурних елементів імітаційної моделі, а також особливостей її функціонування.

2.2.1 Встановлення ресурсів та параметрів моделі

Так як в моделі буде досліджуватися два типи продукції – метал в рулонах та метал в пачках, необхідно створити окремі типи агентів для кожного з них. Для цього в обираємо New – Agent type у вкладці File і створюємо відповідний тип агента (рис. 2.7)

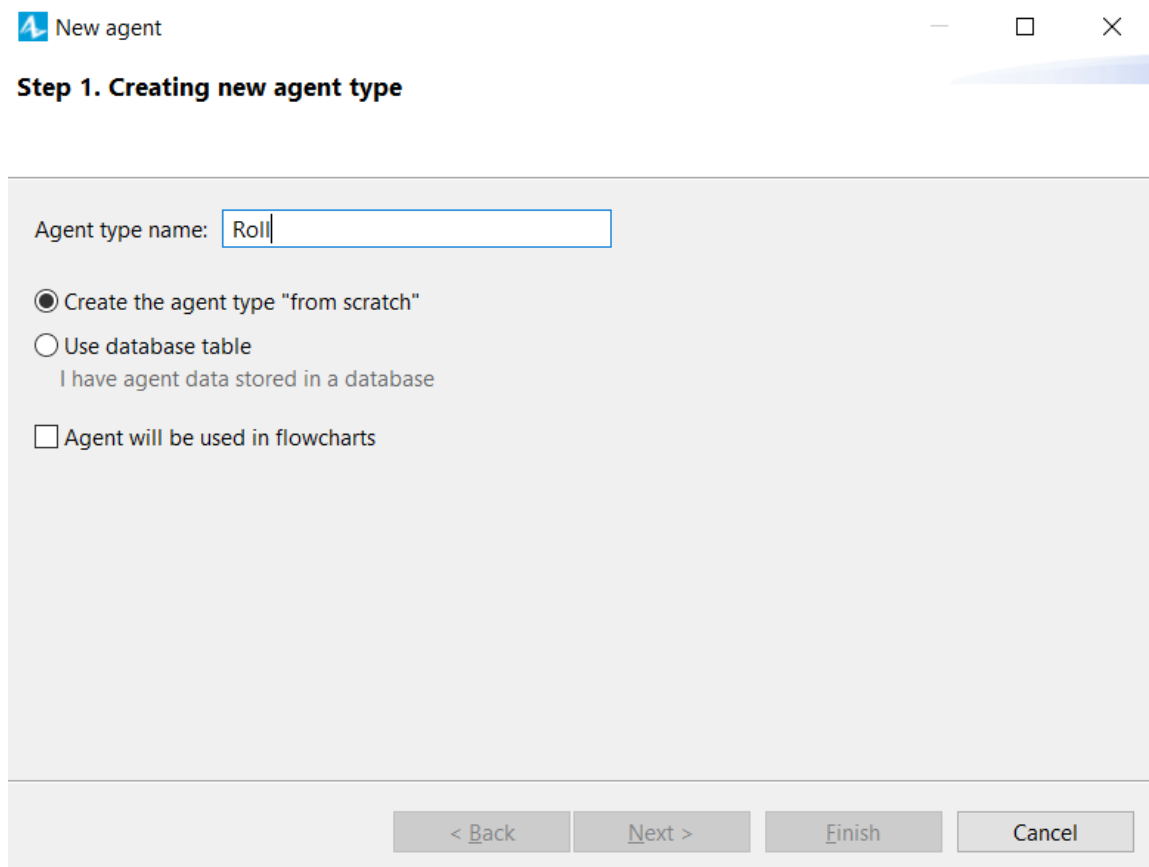


Рисунок 2.7 - Створення нового типу агентів Roll

Встановимо основні ресурси, що використовуватимуться в моделі. Для відтворення всіх процесів задаємо три типи ресурсів, що імітуватимуть трансферкарні візки (transfercar), мостові крани (crane) та локомотиви (locomotive) відповідно (рис.2.8)



Рисунок 2.8 - Елементи використовуваних ресурсів

З метою можливості керування кількістю ресурсів при виконанні експериментів на моделі, ведемо спеціальні елементи – параметри, які можна буде задавати на початку моделювання:

quantityTrans - кількість використовуваних трансферкарних візків;

quantityCrane - кількість використовуваних кранів;

quantityLoc – кількість використовуваних локомотивів.

Для керування їх кількістю встановлюємо елементи управління типу slider, підв'язуємо до кожного з параметрів та встановлюємо граничні значення і крок. Наприклад для кранів мінімальна кількість – 1 кран, максимальна – 3, крок – 1 (рис. 2.9).

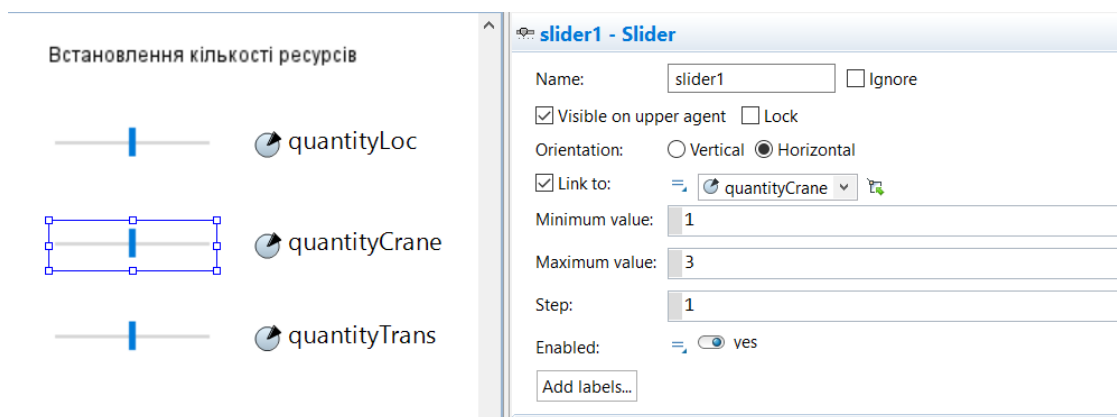


Рисунок 2.9 - Встановлення параметрів керування кількістю ресурсів

У властивостях кожного з ресурсів в полі Capacity вказуємо відповідний параметр, що встановлюватиме кількість задіяних ресурсів певного типу. Для ресурсу transfercar це параметр quantityTrans (рис. 2.10)

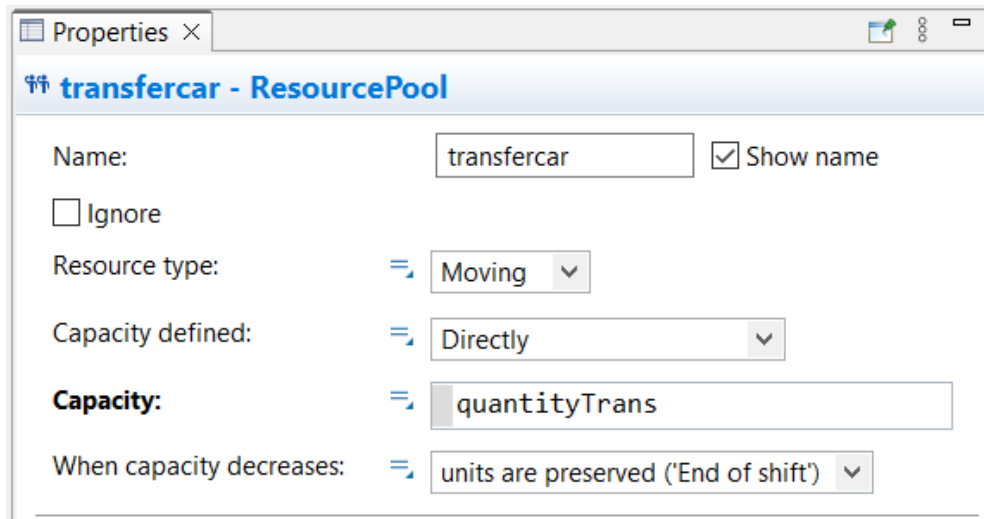


Рисунок 2.10 - Встановлення властивостей ресурсу transfercar

Аналогічним чином задаємо кількість ресурсів для crane - параметр quantityCrane, для locomotive – quantityLoc.

Окрім ресурсів, керованим параметром в моделі буде розмір партій продукції. Розмір партій встановлюється як окремий параметр для кожного типу продукції (рулони та пачки). Це дає змогу варіювати обсяг партій залежно від потреб логістичного процесу, таких як обмеження вагонів, часові інтервали чи інші технологічні вимоги. Для керування цим показником використовуються спеціальні елементи управління – текстові поля (editbox), що дозволяють вводити значення цього параметра.

Таке рішення дає можливість змінювати розмір партій під час проведення моделювання, що сприяє більш детальному аналізу впливу цього показника на загальну ефективність логістичних операцій.

Встановлення розміру партій

	sizePartiaRoll
	sizePartiaPack

Рисунок 2.11 - Параметри встановлення розмірів партій

2.2.2 Розробка логіки моделі

Після визначення ключових параметрів моделі, таких як кількість ресурсів і розмір партій, наступним етапом є розробка логіки моделі. Логіка моделі забезпечує імітацію реальних процесів, включаючи обробку різних видів продукції, їх транспортування, завантаження у вагони та формування подачі.

Кожен блок моделі відповідає за виконання конкретного завдання і містить відповідні елементи, такі як генерація агентів, захоплення ресурсів, їх використання та звільнення, а також формування партій і подачі. Такий підхід дозволяє не лише моделювати окремі операції, але й комплексно аналізувати їхній взаємозв'язок та вплив на загальну ефективність системи.

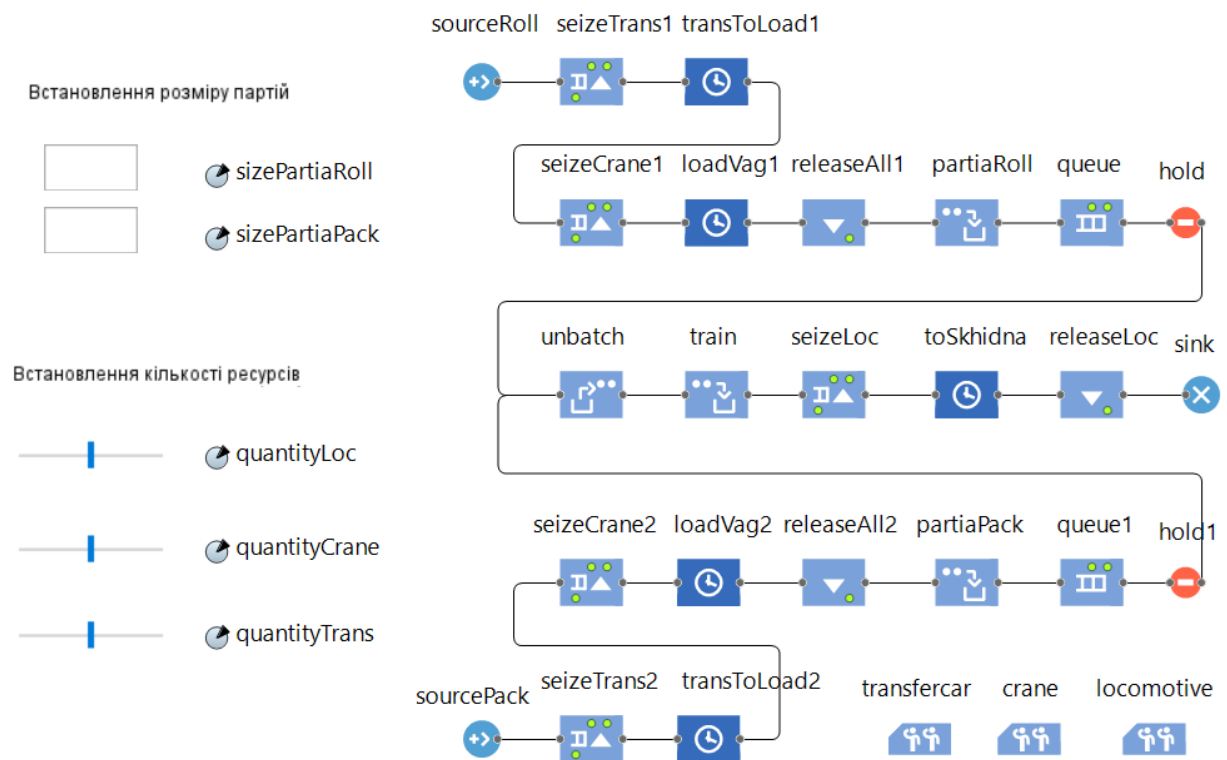


Рисунок 2.12 - Загальний вигляд розробленої моделі

В моделі можна виділити три основні частини: імітація обробки рулонів, імітація обробки пачок та формування повної подачі вагонів до ст. Східна.

У розробленій моделі передбачено два основних блоки: обробки рулонів та обробки пачок металу. Кожен із цих блоків має однаковий набір елементів, які виконують ключові функції, необхідні для відтворення реальних процесів. Проте, для кожного виду продукції встановлюються індивідуальні параметри роботи, які відповідають технологічним вимогам та особливостям логістичних операцій.

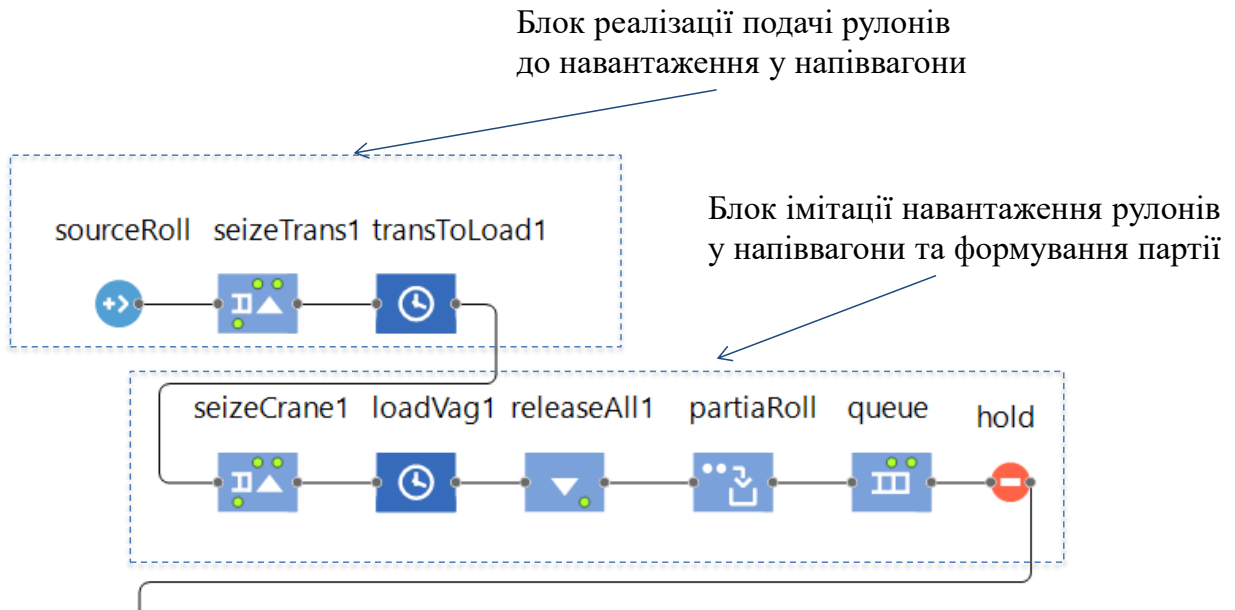


Рисунок 2.13 - Імітація обробки рулонів

Наприклад, для рулонів та пачок металу задаються різні параметри тривалості навантаження у вагони, які залежать від розміру, ваги та типу продукції. Також визначаються специфічні інтервали відправлення, що враховують поточні виробничі плани та обсяги замовлень. Окрім того, для кожного виду продукції встановлюються індивідуальні розміри партій, які відповідають логістичним стандартам та вимогам клієнтів.

Кожен блок включає генерацію агентів, захоплення відповідних ресурсів, таких як трансферкарні візки та мостові крани, імітацію їх використання протягом певного часу, а також формування та накопичення партій до заданого розміру. Це дозволяє моделі гнучко налаштовуватись під різні сценарії роботи системи, аналізувати окремі етапи обробки продукції та виявляти можливі вузькі місця в процесі.

Блок реалізації подачі рулонів до навантаження починається з генерації нових агентів через елемент SourceRoll. В ньому встановлюємо інтенсивність відправлення рулонів згідно отриманого закону розподілу: normal (12.33, 6, 24).

Далі за допомогою елемента seizeTrans1 захоплюється ресурс - трансферкарний візок, який переміщуватиме рулони до напіввагону (рис. 2._). У властивостях елемента слід вказати тип ресурсу, що захоплюватиметься – transfercar та кількість захоплюваних ресурсів – 1.

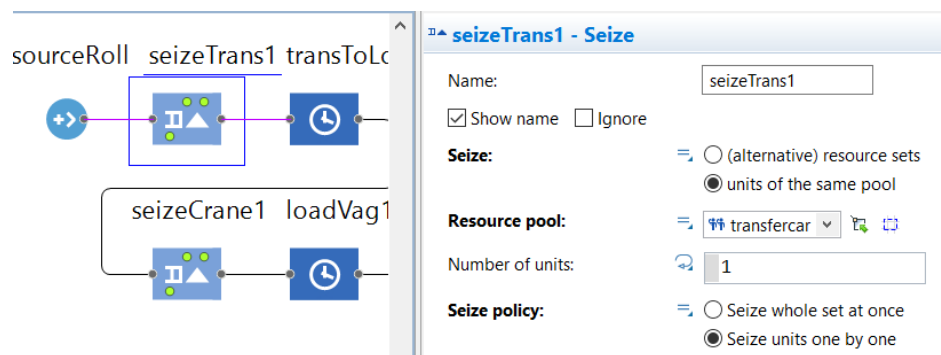


Рисунок 2.14 - Встановлення властивостей елемента seizeTrans1

Елемент transToLoad імітує затримку агента на деякий час. Задаємо у властивостях тривалість затримки – час, що потрібний для переміщення трансферкарними візками потрібного обсягу рулонів для заповнення одного вагону. З урахуванням підготовчих та вантажних операцій цей час складатиме 1,5 год.

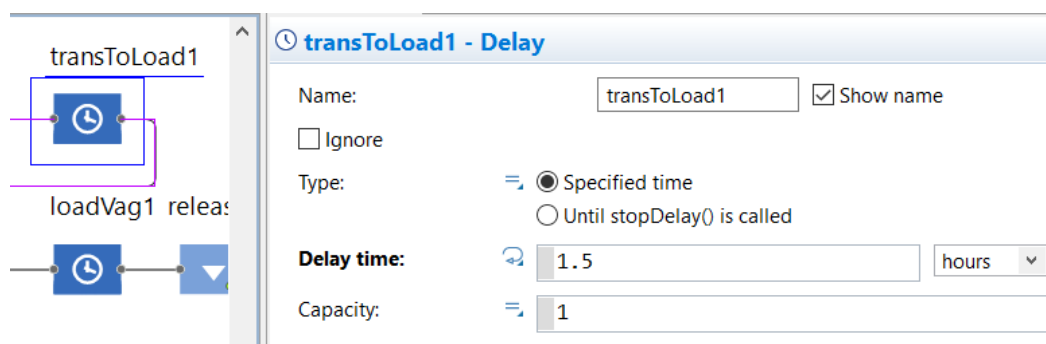


Рисунок 2.15 - Встановлення властивостей елемента transToLoad

Далі агенти переходять до наступного блоку – імітації навантаження рулонів у напіввагони. Тут вони захоплюють наступний ресурс – кран, що відтворює елемент `seizeCran1`. У його властивостях вказуємо тип ресурсу, що захоплюватиметься – `crane` та кількість захоплюваних ресурсів – 1.

Елемент `loadVag1` імітує завантаження рулонів у вагони, отже у його властивостях встановлюємо час навантаження, що з урахуванням закріплення та пакування рулонів складає 70 хв.

Після завантаження рулонів у вагон слід вивільнити всі попередньо захоплені ресурси. Для цього встановлюємо у властивостях `releaseAll1` в полі `Realise` - All seized resources (of any pool).

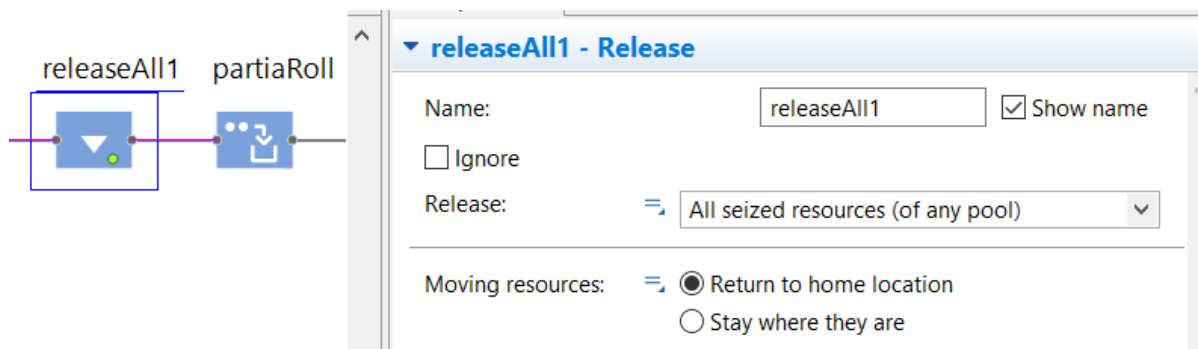


Рисунок 2.16 - Вивільнення захоплених ресурсів

`PartiaRoll` належить до елементів типу `Batch`, що має властивість накопичувати агентів зазначеного типу. У такий спосіб реалізуємо накопичення партії вагонів з рулонами, встановленого розміру.

Вказуємо у властивостях об'єкту в полі `Batch size` назву параметру, що відповідає за розмір партії – `sizePartRoll`. Таким чином, після накопичення потрібного числа агентів цей елемент об'єднає їх і створить вже новий тип агенту.

Далі встановлено блокувальник – `hold`, який перекриває потік агентів. Цей об'єкт виключатиме випадковість потрапляння двох партій одного вантажу до складу.

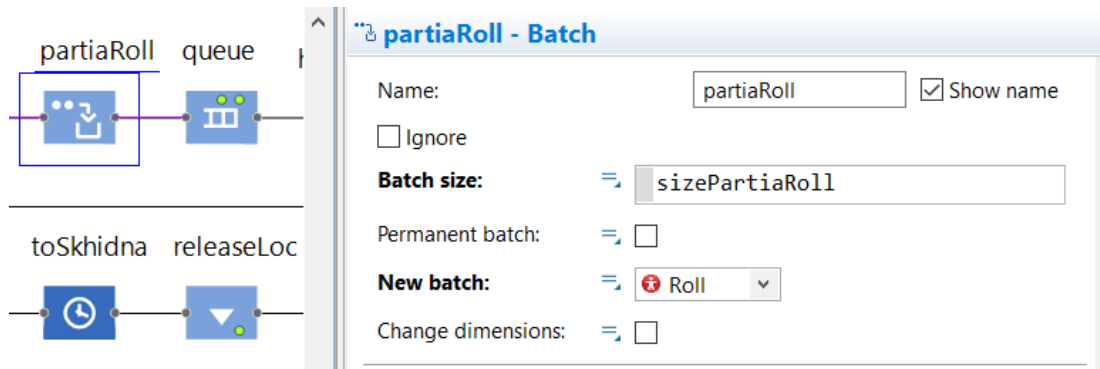


Рисунок 2.17 - Накопичення вагонів з рулонами

Щоб уникнути помилок роботи моделі у разі виникнення такої партії встановлюємо перед hold об'єкт черги queue, що притримає партію з рулонами, доки не обслугується попередня.

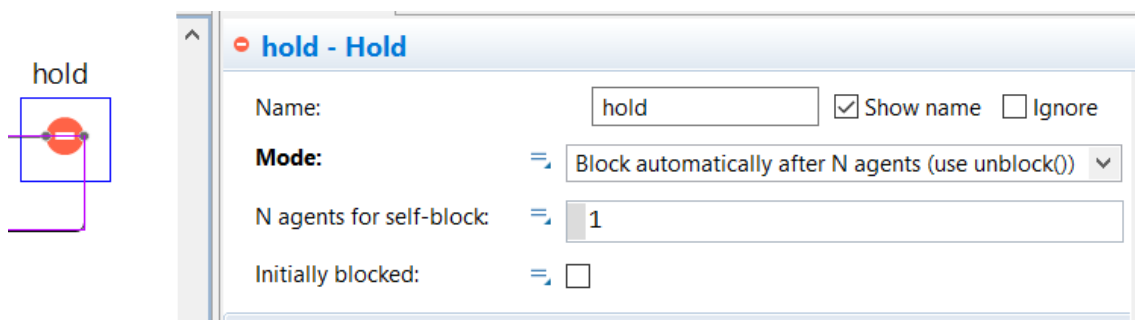


Рисунок 2.18 - Елемент блокування потоку агентів

Імітація обробки пачок реалізована аналогічним чином з використанням тих же об'єктів (рис. 2.19). Для елементів цього блоку встановлюємо наступні властивості:

SoursePuck - інтенсивність відправлення рулонів - normal (12.33, 6, 24)

seizeTrans2 - ресурс transfercar, кількість захоплюваних ресурсів – 1.

transToLoad2 - тривалість затримки – 2,6 год

seizeCrane1 - тип ресурсу, що захоплюватиметься – crane

loadVag1 – тривалість затримки (час навантаження) - 25 хв

PartiaPack розмір партії – sizePartiaPack.

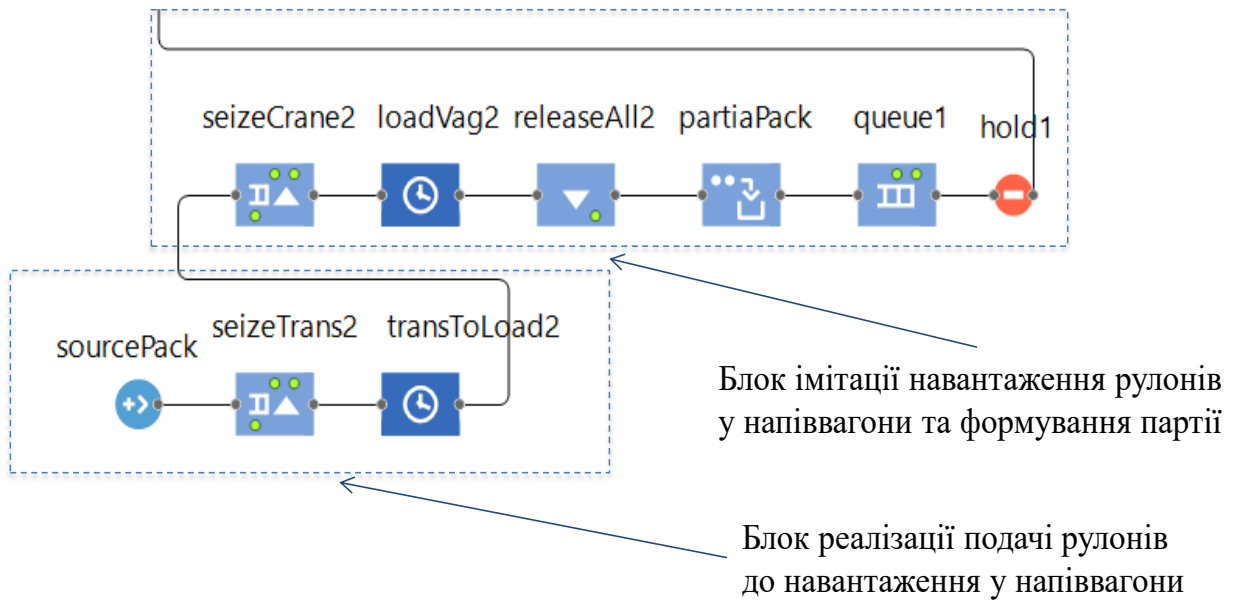


Рисунок 2.19 - Імітація обробки пачок металу

Після того, як партії накопичилися до потрібного обсягу, вони переходять до блоку формування подачі (рис. 2.20).

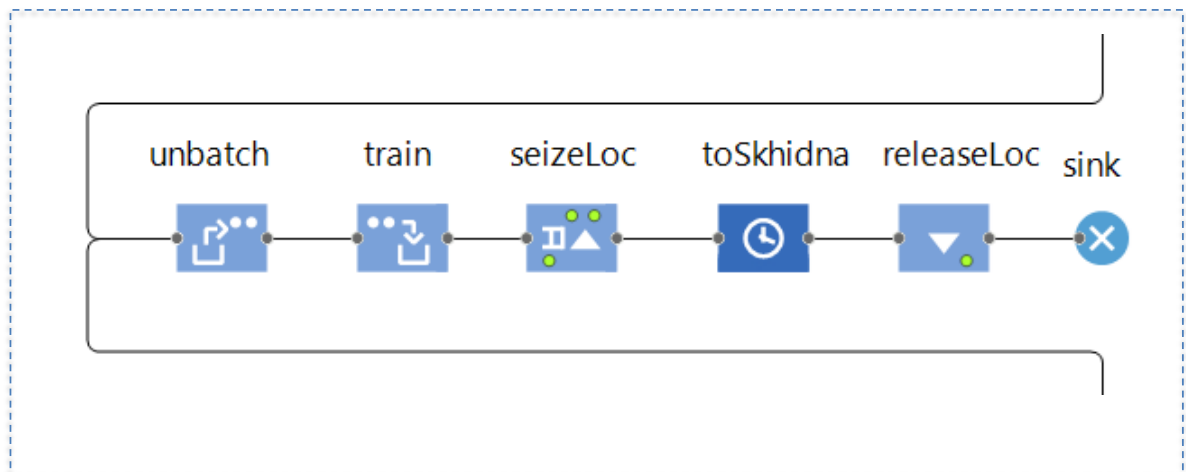


Рисунок 2.20 - Блок формування подачі

В цьому блоці отримані партії агентів (пачок та рулонів) «розпаковуються» об'єктом `unbatch` з метою фіксації кожного окремого вагону, і вже всі разом формуються в загальну подачу у об'єкті `train`.

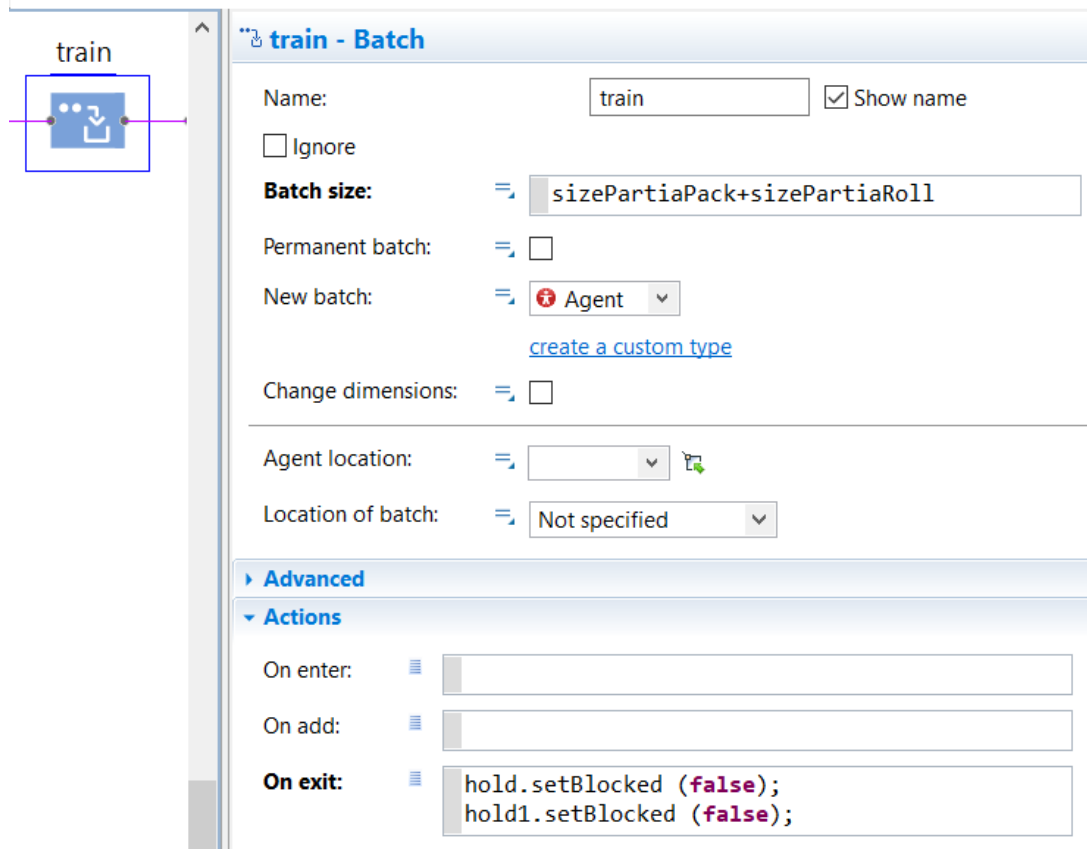


Рисунок 2.21 - Блок формування подачі

Розмір подачі встановлюється як сума параметрів кількості вагонів у партіях з рулонами та пачками. Для цього вказується у властивостях елементу в полі Batch size код sizePartiaPack + sizePartiaRoll. Окрім того, при виході нової сформованої партії слід розблокувати елементи hold, що утримують нові надходження партій рулонів та пачок до нової подачі. У полі On exit вписуємо:

```
hold.setBlocked (false);
hold1.setBlocked (false);
```

Після формування подачі, новостворений агент захоплює ресурс - локомотив за допомогою елементу siezeLoc. В його властивостях вказуємо тип використовуваного ресурсу – locomotive.

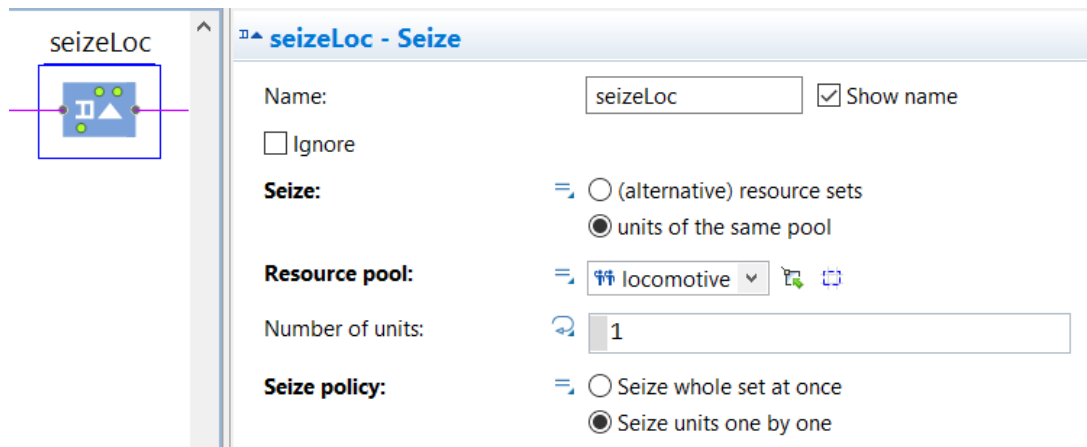


Рисунок 2.22 - Захоплення ресурсу-локомотиву

Потім агент затримується елементом toSkhidna на час, рівний тривалості подачі составу з ЦХП-1 до станція Східна. Після чого ресурс-локомотив вивільняється об'єктом releaseLoc та знищується у об'єкті sink, попередньо зібравши статистичні дані щодо обробки агентів.

2.3 Експериментальні дослідження та результати моделювання системи

У створеній імітаційній моделі визначено два ключові параметри, що впливають на ефективність функціонування транспортної системи під час транспортування металопрокату: кількість задіяних локомотивів та кількість кранів, які використовуються для завантаження металопрокату.

Для детального аналізу ефективності системи будуть проведені експерименти з варіацією цих параметрів, щоб оцінити їх вплив на показники продуктивності. У процесі моделювання передбачається використання різних комбінацій локомотивів та кранів. Так, в експериментах буде розглянуто варіанти з 1 та 2 локомотивами, а також з 2 та 3 кранами. Зміна кількості локо-

мотивів дозволяє визначити, як впливає залучення додаткових ресурсів на зменшення часу простою та загальну ефективність перевезень.

Окрім цього, важливим параметром є розмір партії вагонів, що подаються для завантаження на станцію. Буде варіативно змінювати кількість вагонів у партії для оцінки її впливу на загальну ефективність роботи системи. Зокрема, розглядатимуться наступні розміри партій:

- 10 вагонів, що складаються з 4 вагонів з рулонами та 6 з пачками;
- 12 вагонів (6 вагонів з рулонами та 6 вагонів з пачками);
- 16 вагонів (6 вагонів з рулонами та 10 вагонів з пачками);
- 18 вагонів (8 вагонів з рулонами та 10 вагонів з пачками).

Ці варіанти дозволяють проаналізувати, як змінюється ефективність завантаження та транспортування залежно від розміру партії та кількості залучених ресурсів. Метою експериментів є визначення оптимальної комбінації параметрів, що дозволить досягти максимального коефіцієнта використання ресурсів та зменшити час простою вагонів. Результати досліджень, що відображають вплив кожного з параметрів на продуктивність, наведені у табл. 2.

Річний простій вагонів визначений згідно з урахуванням їх кількості на рік (4019 вагонів з рулонами та 5593 вагонів з пачками, всього 9612 вагонів)

Таблиця 2.2 - Результати проведених експериментів на моделі

Кількість ресурсів		Тривалість простою вагонів, год		Коеф. використання 1 лок.	Коеф. використання 1 крану
1		2	3	4	5
<i>Група експериментів 1. Подача 10 вагонів (рулони – 4 ваг., пачки 6 ваг.)</i>					
лок. 1	крани 2	8,5	81702	0,85	0,75
лок. 2	крани 2	7,8	74973,6	0,65	0,8
лок. 1	крани 3	7	67284	0,75	0,55
лок. 2	крани 3	6,5	62478	0,55	0,58

Кінець таблиці 2.2

1		2	3	4	5
<i>Група експериментів 2. Подача 12 (рулони – 6 ваг., пачки – 6 ваг.)</i>					
лок. 1	крани 2	9	86508	0,8	0,78
лок. 2	крани 2	8,2	78818,4	0,6	0,83
лок. 1	крани 3	7,4	71128,8	0,7	0,55
лок. 2	крани 3	6,8	65361,6	0,5	0,58
<i>Група експериментів 3. Подача 16 вагонів (рулони – 6 ваг., пачки 10 ваг.)</i>					
лок. 1	крани 2	10,8	103809,6	0,78	0,85
лок. 2	крани 2	9,2	88430,4	0,58	0,88
лок. 1	крани 3	8,5	81702	0,68	0,55
лок. 2	крани 3	7,9	75934,8	0,48	0,58
<i>Група експериментів 4. Подача 18 вагонів (рулони – 8 ваг., пачки 10 ваг.)</i>					
лок. 1	крани 2	11,5	110538	0,75	0,9
лок. 2	крани 2	10,5	100926	0,55	0,93
лок. 1	крани 3	9,8	94197,6	0,65	0,56
лок. 2	крани 3	9	86508	0,45	0,59

На основі отриманих результатів можна провести аналіз ефективності роботи транспортно-логістичної системи в умовах варіювання кількості ресурсів (локомотивів і кранів) та типів подач вагонів.

У разі використання одного локомотива спостерігається значно довша тривалість простою вагонів порівняно з двома локомотивами.

Збільшення кількості кранів з двох до трьох зменшує тривалість простою вагонів під навантаженням. Це свідчить про те, що крани є важливим фактором у підвищенні продуктивності завантажувально-розвантажувальних робіт. У випадках із трьома кранами спостерігається більш ефективне завантаження вагонів за рахунок розподілу робочого навантаження між додатковим обладнанням.

У подачах із меншою кількістю вагонів (наприклад, 10 вагонів) загальна тривалість простою є найменшою. Це логічно, оскільки менший обсяг роботи вимагає менше часу.

При збільшенні кількості вагонів у подачі (до 18 вагонів) тривалість простою зростає, навіть за умов збільшення ресурсів. Це вказує на необхідність оптимального балансу між розміром партій та ресурсами, що використовуються.

Коефіцієнт використання локомотивів підвищується при збільшенні кількості вагонів у подачі. Однак, у випадках із двома локомотивами показники ефективності стають більш збалансованими.

Коефіцієнт використання кранів демонструє, що при збільшенні кількості кранів (з 2 до 3) навантаження на кожен кран знижується, а система стає більш гнучкою в обробці великих партій.

Ефективність транспортно-логістичної системи значною мірою залежить від оптимального поєднання ресурсів і розмірів подач. Для зменшення простоїв вагонів і підвищення продуктивності можна розглянути такі рекомендації:

- збільшення кількості кранів до трьох у разі обробки великих партій.
- використання додаткового локомотива також сприяє зниженню тривалості простою, але вимагає збільшення витрат.
- збалансування розмірів подач вагонів, щоб забезпечити ефективне використання ресурсів і уникнути перевантаження.

Для великих партій (16–18 вагонів) рекомендується використовувати 3 крани, оскільки це значно скорочує час простою, не знижуючи суттєво коефіцієнт використання локомотивів. Для більшості сценаріїв 3 крани дозволяють скоротити тривалість простою вагонів, хоча використання кранів стає менш інтенсивним.

Таким чином для визначення раціональних параметрів роботи транспортно-логістичної системи необхідно виконати економічні розрахунки.

3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок вартості відправки металопрокату з ЦХП-1

У межах даного дослідження було здійснено аналіз процесу відправки металопрокату з ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь». На цей час обслуговування вантажних фронтів підприємства здійснюється із залученням одного або двох локомотивів залежно від виробничих потреб. Для забезпечення процесу завантаження металопрокату використовуються два або три крани.

Особливістю процесу є формування подач із вагонів, які містять металопрокат у рулонах та пачках. У ході експериментів були розглянуті варіанти подач у кількостях 10, 12, 16 та 18 вагонів із різною пропорцією вагонів із рулонами та пачками. Варіативність параметрів дозволила детально оцінити їхній вплив на витрати системи та ефективність перевезень.

З метою визначення оптимального способу організації відправок було проведено експериментальне моделювання, де варіювалися керовані параметри: кількість залучених локомотивів та кранів, а також розміри партій вагонів. Результати експериментів дозволили проаналізувати тривалість простою вагонів, коефіцієнт використання локомотивів і кранів, а також визначити загальні витрати.

До складу загальних витрат включено витрати на користування вагонами, експлуатацію локомотивів та роботу кранів. Одержані дані стали основою для економічного аналізу, що дозволив виявити оптимальний варіант організації перевезень. Завдяки цьому дослідженню можна запропонувати рішення для підвищення ефективності транспортно-логістичної системи підприємства та скорочення витрат.

Загальні витрати на відправку готової продукції включають витрати на використання рухомого складу, роботу локомотивів та експлуатацію кранів [7]:

$$B_{відпр} = B_{ваг} + B_{лок} + B_{кр} \quad (3.1)$$

де $B_{ваг}^{кор}$ - витрати на користування вагонами, грн;

$B_{лок}$ - витрати на роботу локомотивів, грн.

$B_{кр}$ - витрати на роботу кранів, грн.

Витрати на користування вагонами [8]:

$$B_{ваг} = C_{год}^{ваг} \cdot t_{пр}^{річн} \quad (3.2)$$

де $C_{год}^{ваг}$ - вартість однієї години користування вагонами;

$t_{пр}^{річн}$ - загальна річна тривалість користування вагонами, год;

Витрати на експлуатацію локомотивів визначаються за формулою:

$$B_{лок} = C_{год}^{лок} \cdot T_{лок} \cdot n_{лок} \cdot k_{лок} \quad (3.3)$$

де $C_{год}^{лок}$ - вартість роботи локомотиву (1 год), грн;

$T_{лок}$ - загальна тривалість роботи локомотива за рік

$n_{лок}$ - число локомотивів, що обслуговують вагони, од;

$k_{лок}$ - коефіцієнт залучення локомотивів.

Витрати на експлуатацію кранів розраховуються за формулою:

$$B_{кр} = C_{год}^{кр} \cdot T_{кр} \cdot n_{кр} \cdot k_{кр} \quad (3.4)$$

де

$C_{год}^{кр}$ - вартість однієї години роботи крана, грн;

$T_{кр}$ - річний час роботи крана, год;

$n_{кр}$ - кількість залучених кранів, од.

$k_{кр}$ - коефіцієнт залучення локомотивів.

Вихідні дані до економічних розрахунків:

Вартість години вагону	58,33 грн
Вартість години тепловозу	1230 грн
Вартість години крану	1130 грн
Річна тривалість роботи локомотивів	8760 год
Річна тривалість роботи кранів	8760 год

3.1.1 Розрахунки витрат за базовим варіантом

Для початку визначимо річну тривалість користування всіма відправленими вагонами з металопрокатом [9]:

$$t_{np}^{річн} = t_{np} \cdot n_{ваг}^{річн}, \quad (3.4)$$

де t_{np} - час простою одного вагона під подачею, год;

$n_{ваг}^{річн}$ - кількість вагонів, відвантажених за рік, грн;

Витрати на користування вагонами:

$$B_{ваг}^{баз} = 99003,6 \cdot 58,33 = 5774880 \text{ грн}$$

Витрати на використання локомотивів:

$$B_{лок}^{баз} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,8 = 8619840 \text{ грн}$$

Витрати на використання кранів:

$$B_{кр}^{баз} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,8 = 15838080 \text{ грн}$$

Загальні витрати:

$$B_{заг}^{баз} = 5774880 + 8619840 + 15838080 = 30232800 \text{ грн}$$

3.1.2 Розрахунки витрати за проєктними варіантами

Група експериментів 1. Подача 10 вагонів (рулони – 4 ваг., пачки 6 ваг.)

Витрати на користування вагонами:

$$B_{ваг}^{np11} = 81702 \cdot 58,33 = 4765678 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np12} = 74973,6 \cdot 58,33 = 4373210 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np13} = 67284 \cdot 58,33 = 3924676 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np14} = 62478 \cdot 58,33 = 3644342 \text{ грн}$$

Витрати на використання локомотивів:

$$B_{лок}^{np11} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,85 = 9158580 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np12} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,65 = 14007240 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np13} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,75 = 8081100 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np14} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,55 = 11852280 \text{ грн}$$

Витрати на використання кранів:

$$B_{кр}^{np11} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,75 = 14848200 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np12} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,8 = 15838080 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np13} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,55 = 16333020 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np14} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,58 = 17223912 \text{ грн}$$

Загальні витрати:

$$B_{заг}^{np11} = 4765678 + 9158580 + 14848200 = 28772458 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np12} = 4373210 + 14007240 + 15838080 = 34218530 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np13} = 3924676 + 8081100 + 16333020 = 28338796 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np14} = 3644342 + 11852280 + 17223912 = 32720534 \text{ грн}$$

Група експериментів 2. Подача 12 (рулони – 6 ваг., пачки – 6 ваг.)

Витрати на користування вагонами:

$$B_{ваг}^{np21} = 86508 \cdot 58,33 = 5046012 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np22} = 78818,4 \cdot 58,33 = 4597477 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np23} = 71128,8 \cdot 58,33 = 4148943 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np24} = 65361,6 \cdot 58,33 = 3812542 \text{ грн}$$

Витрати на використання локомотивів:

$$B_{лок}^{np21} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,8 = 8619840 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np22} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,6 = 12929760 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np23} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,7 = 7542360 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np24} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,5 = 10774800 \text{ грн}$$

Витрати на використання кранів:

$$B_{кр}^{np21} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,78 = 15442128 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np22} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,83 = 16432008 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np23} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,55 = 16333020 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np24} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,58 = 17223912 \text{ грн}$$

Загальні витрати:

$$B_{заг}^{np21} = 5046012 + 8619840 + 15442128 = 29107980 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np22} = 4597477 + 12929760 + 16432008 = 33959245 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np23} = 4148943 + 7542360 + 16333020 = 28024323 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ваг}}^{\text{нр}24} = 3812542 + 10774800 + 17223912 + 31811254 \text{ грн}$$

Група експериментів 3. Подача 16 вагонів (рулони – 6 ваг., пачки 10 ваг.)

Витрати на користування вагонами:

$$B_{\text{ваг}}^{\text{нр}31} = 103809,6 \cdot 58,33 = 6055214 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ваг}}^{\text{нр}32} = 88430,4 \cdot 58,33 = 5158145 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ваг}}^{\text{нр}33} = 81702 \cdot 58,33 = 4765678 \text{ грн}$$

$$B_{\text{ваг}}^{\text{нр}34} = 75934,8 \cdot 58,33 = 4429277 \text{ грн}$$

Витрати на використання локомотивів:

$$B_{\text{лок}}^{\text{нр}31} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,78 = 8404344 \text{ грн}$$

$$B_{\text{лок}}^{\text{нр}32} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,58 = 12498768 \text{ грн}$$

$$B_{\text{лок}}^{\text{нр}33} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,68 = 7326864 \text{ грн}$$

$$B_{\text{лок}}^{\text{нр}34} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,48 = 10343808 \text{ грн}$$

Витрати на використання кранів:

$$B_{\text{кр}}^{\text{нр}31} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,85 = 16827960 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np32} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,88 = 17421888 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np33} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,55 = 16333020 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np34} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,58 = 17223912 \text{ грн}$$

Загальні витрати:

$$B_{заг}^{np31} = 6055214 + 8404344 + 16827960 = 31287518 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np32} = 5158145 + 12498768 + 17421888 = 35078801 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np33} = 4765678 + 7326864 + 16333020 = 28425562 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np34} = 4429278 + 10343808 + 17223912 = 31996997 \text{ грн}$$

Група експериментів 4. Подача 18 вагонів (рулони – 8 ваг., пачки 10 ваг.)

Витрати на користування вагонами:

$$B_{ваг}^{np41} = 110538 \cdot 58,33 = 6447682 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np42} = 100926 \cdot 58,33 = 5887014 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np43} = 94197,6 \cdot 58,33 = 5494546 \text{ грн}$$

$$B_{ваг}^{np44} = 86508 \cdot 58,33 = 5046012 \text{ грн}$$

Витрати на використання локомотивів:

$$B_{лок}^{np41} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,75 = 8081100 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np42} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,55 = 11852280 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np43} = 1230 \cdot 8760 \cdot 1 \cdot 0,65 = 7003620 \text{ грн}$$

$$B_{лок}^{np44} = 1230 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,45 = 9697320 \text{ грн}$$

Витрати на використання кранів:

$$B_{кр}^{np41} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,9 = 17817840 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np42} = 1130 \cdot 8760 \cdot 2 \cdot 0,93 = 18411768 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np43} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,56 = 16629984 \text{ грн}$$

$$B_{кр}^{np44} = 1130 \cdot 8760 \cdot 3 \cdot 0,59 = 17520876 \text{ грн}$$

Загальні витрати:

$$B_{заг}^{np41} = 64476812 + 8081100 + 17817840 = 32346622 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np42} = 5887014 + 11852280 + 18411768 = 36151062 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np43} = 5494546 + 7003620 + 16629984 = 29128150 \text{ грн}$$

$$B_{заг}^{np44} = 5046012 + 9697320 + 17520876 = 32264208 \text{ грн}$$

3.2 Аналіз отриманих результатів та визначення економічного ефекту

Виконаємо порівняння різних варіантів організації роботи транспортно-логістичної системи відвантаження прокату з ЦХП-1 (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Аналіз витрат за різних варіантів роботи системи

Базовий варіант					
Кількість ресурсів		Витрати на корист. вагонами	Витрати на роботу локомотивів	Витрати на роботу кранів	Загальні витрати
Локомотиви	Крани				
1	2	3	4	5	6
1	2	5774880	8619840	15838080	30232800
Проектний варіант					
<i>Група експериментів 1. Подача 10 вагонів (рулони – 4 ваг., пачки 6 ваг.)</i>					
1	2	4765678	9158580	14848200	28772458
2	2	4373210	14007240	15838080	34218530
1	3	3924676	8081100	16333020	28338796
2	3	3644342	11852280	17223912	32720534
<i>Група експериментів 2. Подача 12 (рулони – 6 ваг., пачки – 6 ваг.)</i>					
1	2	5046012	8619840	15442128	29107980
2	2	4597477	12929760	16432008	33959245
1	3	4148943	7542360	16333020	28024323
2	3	3812542	10774800	17223912	31811254

Кінець таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6
<i>Група експериментів 3. Подача 16 вагонів (рулони – 6 ваг., пачки 10 ваг.)</i>					
1	2	6055214	8404344	16827960	31287518
2	2	5158145	12498768	17421888	35078801
1	3	4765678	7326864	16333020	28425562
2	3	4429277	10343808	17223912	31996997
<i>Група експериментів 4. Подача 18 вагонів (рулони – 8 ваг., пачки 10 ваг.)</i>					
1	2	6447682	8081100	17817840	32346622
2	2	5887014	11852280	18411768	36151062
1	3	5494546	7003620	16629984	29128150
2	3	5046012	9697320	17520876	32264208

За результатами розрахунків найнижчі сукупні витрати були досягнуті у варіанті із залученням одного локомотива та трьох кранів при подачі 12 вагонів, де загальні витрати становлять 28024323 грн. Порівняно з базовим варіантом роботи (один локомотив, два крани, подача 14 вагонів) економічний ефект можна визначити наступним чином:

$$E = 30232800 \text{ грн} - 28024323 \text{ грн} = 2208477 \text{ грн}$$

Таким чином, оптимальним рішенням є не лише збільшення кількості кранів до трьох, але й зменшення розміру подачі вагонів до 12 одиниць, що дозволяє знизити операційні витрати та підвищити ефективність функціонування системи.

Цей варіант забезпечує оптимальне балансування ресурсів: додатковий кран дозволяє пришвидшити завантаження вагонів та зменшити простої, тоді як помірний розмір партії сприяє ефективнішому управлінню логістичними операціями. Реалізація такого рішення дозволяє підприємству досягти еко-

номії близько 2,2 млн грн, що є суттєвим показником для оптимізації транспортно-логістичних витрат.

В цілому можна зробити такі висновки:

- кількість локомотивів значно впливає на загальні витрати: використання 1 локомотива є економічно вигіднішим варіантом;
- оптимальна кількість кранів – 3 крани, що знижує витрати на завантаження металопрокату та дозволяє уникнути простоїв;
- ефективні розміри подач: найкращі результати досягаються для подач 10-16 вагонів при раціональному використанні ресурсів.

Загалом, проєктні варіанти демонструють суттєву економію порівняно з базовим варіантом, особливо при правильному балансуванні локомотивів і кранів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі дипломної роботи на тему «Дослідження та удосконалення транспортно-логістичної системи відправки металопрокату з цеху ЦХП-1 ПАТ «Запоріжсталь»» здійснено детальний аналіз потенційних ризиків і небезпек, які можуть виникати під час виконання виробничих процесів. Розглянуто чинники, що можуть впливати на безпеку працівників і дослідника, а також запропоновано комплекс заходів для їх попередження та усунення.

Окрім того здійснено оцінку складності та напруженості праці при роботі з комп'ютерною технікою. Проведене дослідження підтвердило, що у випадках, коли параметри навколишнього середовища не відповідають встановленим нормативам, необхідно запроваджувати компенсаційні заходи, зокрема надбавки для працівників.

4.1 Аналіз потенційних небезпек

Під час аналізу було визначено найбільш критичні небезпеки, які можуть виникати під час навантаження та перевезення металопрокату залізничним транспортом:

- ризик падіння вантажу при навантаженні: можливе падіння металопрокату через несправність стропів, траверс, гаків кранів або інших вантажопідйомних механізмів, що може призводити до травмування працівників;
- недотримання технології навантажувальних робіт: падіння вантажу може статися через ненадійне закріплення стропальниками або невиконання ними встановленої системи сигналізації;

- інші небезпеки: повний перелік потенційних загроз детально розглянуто у Додатку А.

У Додатку Б наведено заходи, спрямовані на усунення загальних виробничих небезпек, включно із питаннями санітарії та гігієни праці.

Додаток В містить розрахунки шкідливих факторів виробничого середовища, де визначено класи небезпек на основі замірів, виконаних у лабораторії дослідника за допомогою комп'ютерного обладнання.

Окремо розглянуто питання цивільного захисту, включно з рекомендаціями щодо дій у надзвичайних ситуаціях.

4.2 Заходи безпеки в надзвичайних ситуаціях

Перевезення підрозділів Оперативно-рятувальних служб цивільного захисту (ОРС ЦЗ) здійснюється за допомогою залізничного, морського, річкового, повітряного транспорту або комбінованими способами. Організація перевезень покладається на керівника відповідного органу управління або підрозділу ОРС ЦЗ, який забезпечує координацію процесу з урахуванням особливостей транспортування, безпеки та логістичних вимог.

Перед початком перевезень підрозділи розміщуються відповідно до розподілу за транспортними засобами — залізничними ешелонами, суднами чи літаками — з урахуванням їх оперативного прибуття до місць призначення. До початку завантаження всі підрозділи переміщуються до визначених зон очікування. Ці зони розташовуються на відстані 3-5 км від місць завантаження (для повітряного транспорту — 10-15 км). Після завершення транспортування підрозділи направляються до районів збору.

Для комбінованого способу перевезень керівник органу управління визначає склад підрозділів, які транспортуються залізничним, морським, річковим або повітряним транспортом, а також тих, які пересуваються самотійно.

Пріоритет віддається перевезенню важкої техніки — тягачів, гусеничних машин та інженерного обладнання з обмеженим запасом ходу або низькою швидкістю руху.

Розрахунки для комбінованих перевезень повинні враховувати синхронне прибуття всіх підрозділів у район зосередження. У разі непередбаченого припинення транспортування підрозділи повинні мати можливість швидко об'єднатися для подальших дій.

Посадка та висадка особового складу, завантаження і розвантаження техніки, а також матеріально-технічних засобів виконуються відповідно до затверджених організаційно-розпорядчих документів. Під час перевезень суворо дотримуються вимоги безпеки, встановлені нормативними актами.

Особовий склад ОРС ЦЗ забезпечується харчуванням і побутовими умовами, які відповідають санітарно-гігієнічним нормам. Медичне забезпечення здійснюється працівниками штатних медичних пунктів підрозділів для підтримання здоров'я та працездатності особового складу.

4.3 Заходи з пожежної безпеки

Забезпечення пожежної безпеки є важливою складовою загальної безпеки перевезень залізничним транспортом. Виникнення пожежі з будь-якої причини належить до техногенних надзвичайних ситуацій, які можуть спричинити серйозні матеріальні збитки, втрату людських життів та зупинку експлуатації транспортних засобів.

У зв'язку з цим питання протипожежного захисту на залізничному транспорті є надзвичайно актуальним. Усі транспортні засоби, а також виробничі та допоміжні приміщення мають бути оснащені первинними засобами пожежогасіння, зокрема вогнегасниками, пожежними щитами та іншим необхідним обладнанням.

Вимоги щодо забезпечення пожежної безпеки на залізничному транспорті регламентуються Законом України № 1322 від 21.12.2009 р. «Про пожежну безпеку на залізничному транспорті». Відповідно до законодавства, всі працівники, залучені до транспортних процесів, повинні бути проінструктовані щодо правил протипожежного захисту, а на об'єктах регулярно проводяться перевірки та навчання для забезпечення ефективного реагування на можливі загоряння.

ВИСНОВКИ

У ході проведеного дослідження були проаналізовані основні аспекти організації та вдосконалення транспортно-логістичної системи відправлення металопрокату з цеху холодного прокату №1 ПАТ «Запоріжсталь». В результаті роботи визначено низку недоліків існуючої системи, зокрема недостатню оптимізацію розподілу вантажів, перевантаження окремих елементів системи тощо. Усі ці фактори спричиняють збільшення витрат та зниження ефективності роботи системи.

Було виконано комплексний статистичний аналіз, спрямований на вивчення основних характеристик процесу відвантаження металопрокату. Зокрема, було проведено статистичний аналіз інтервалів відправлень, що дозволило визначити закономірності та можливі затримки в процесі транспортування продукції. Також проведено аналіз кількості вагонів, що вказує на ефективність використання ресурсів для виконання відправок. Ці статистичні дослідження стали основою для подальшого моделювання та оптимізації транспортно-логістичної системи.

В рамках дослідження була створена імітаційна модель транспортно-логістичної системи, що дозволила провести експериментальне моделювання різних варіантів організації перевезень. Результати моделювання показали, що оптимізація кількості локомотивів і кранів, а також зменшення розміру партій вантажів призводять до значного скорочення часу простою вагонів та зниження операційних витрат.

Зокрема, використання трьох кранів замість двох дозволяє значно покращити ефективність завантажувально-розвантажувальних робіт, зменшуючи час простою та підвищуючи продуктивність. Крім того, оптимальний розмір партій вагонів, що складає 12 одиниць, забезпечує баланс між використанням ресурсів та зменшенням витрат.

Економічні розрахунки показали, що найнижчі загальні витрати дося-

гаються у варіанті з одним локомотивом, трьома кранами і подачею 12 вагонів, що дозволяє знизити операційні витрати на 2,2 млн грн порівняно з базовим варіантом.

Запропоновані заходи з оптимізації транспортно-логістичної системи можуть значно підвищити ефективність роботи підприємства, зменшити витрати і забезпечити стабільність у виконанні відправок. Врахування результатів дослідження в реальному виробничому процесі дозволить покращити якість обслуговування клієнтів та підвищити конкурентоспроможність ПАТ «Запоріжсталь» на ринку.

Загалом, проведене дослідження доводить важливість комплексного підходу до оптимізації транспортно-логістичних систем, що включає не тільки технічне вдосконалення, але й економічний аналіз для досягнення максимальної ефективності та мінімізації витрат.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Офіційний сайт ПАТ «Запоріжсталь»: «Про підприємство». URL : <https://zaporizhstal.com/>.
2. ЄТП станції примикання Запоріжжя-Ліве та під'їзної колії ПАТ металургійний комбінат «Запоріжсталь». Запоріжжя: ПАТ «Запоріжсталь», 2021, 180 с.
3. Технічно-розпорядчий акт станції «Південна» / ПАТ ЗМК «Запоріжсталь» : затв. в.о. нач. УЗТ Ковган В.О. Запоріжжя, 2021, 29 с.
4. Лаврухін, О.В. та ін. Вантажні перевезення на залізничному транспорті: Підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2015. Ч. 1, 260 с.
5. Середа, Б.П., Турпак, С.М., Кругляк, І.В., Острогляд, О.О., Муковська, Д.Я., Середа, Д.Б., Кругляк, Д.О. Підвищення експлуатаційної стійкості та ефективності роботи промислового транспорту в умовах металургійного підприємства: монографія. Кам'янське: ДДТУ. 2021, 272 с.
6. Лашених, О.А., Кузькін, О.Ф. Грицай, С.В. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних процесів і систем. Запоріжжя: ЗНТУ. 2011, 420 с.
7. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Основи економіки транспорту» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 275 «Транспортні технології» / Укл.: ст. викл. Харченко Т.В. Запоріжжя : ЗНТУ. 2021, 36 с.
8. Економіка залізничного транспорту: підручник / за ред. Ю. В. Кулаєва, Ю. С. Бараша, М. В. Гненного; Дніпропетр. національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ. 2014, 480 с.
9. Позднякова, Л.О., Дейнека, О.Г. Жердев, М.Д. та ін. Економіка залізничного транспорту: Навч. посібник / за заг. ред. Л.О. Позднякової, О.Г. Дейнеки. Харків: УкрДАЗТ. 2010, 243 с.

10. Лазуткін М. І., Журавель М. О. Дослідження шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища, важкості і напруженості праці : методичні вказівки до лабораторного заняття з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» : для студентів усіх спеціальностей та усіх форми навчання : Запоріжжя: ЗНТУ. Каф. ОП і НС.

11. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 37 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (Державні санітарні норми та правила).

12. Стеблюк М. І. Цивільна оборона та цивільний захист : навчальний посібник для вузів. К. : Знання, 2013. 487 с.

ДОДАТОК А

АНАЛІЗ ДОДАТКОВИХ ПОТЕНЦІЙНИХ НЕБЕЗПЕК

Можливо падіння вантажу з-за переміщення вантажу понад норми від номіналу ваги упаковки металу.

При недостатньому освітлені можливо не дотримування технології складування вантажу, що призведе до травмування робітників.

Багато травм відбуваються при виконанні робіт на полотні під час переходу через колії, під час перетинання колії перед наближенням рухомого складу, під час перетинання колії на якій стоять вагони.

При не відповідних діях при зчепленні вагонів, не застосуванні башмаків, можливе відділення вагонів від головного поїзду, що призведе до аварій.

При несправності електрообладнання та не герметичності системи живлення локомотива може виникнути пожежа.

При застосуванні легкозаймистих й горючих речовин для очищення й миття двигунів може статися пожежа.

Під час навантажувальних робіт в холодну пору року можливе переохолодження робітників, що призводить до захворювання.

При обробці даних на ПК на дослідника діє ряд шкідливих факторів таких як не відповідність мікроклімату приміщення, де знаходиться ПК, недостатня освітленість, підвищений рівень шуму та інше.

ДОДАТОК Б

ЗАХОДИ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ БЕЗПЕКИ

Перед вантажно-розвантажувальними роботами необхідно візуально перевіряти такелажні пристрої та періодично відправляти їх на перевірку. Відповідно «Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання» НПАОП 0.00-1.80-18.

Не дозволяється піднімати вантаж без перевірки надійності стропування та підтягувати вантаж косим натягом троса.

За кранами та іншими вантажопідіймальними механізмами закріплюються стропальники, які пройшли навчання, перевірку знань і мають відповідне посвідчення. Правила охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт НПАОП 0.00-1.75-15.

Стропальники, під час роботи, користуються захисними касками, дослідник також повинен працювати в касці.

Стропальники, повинні знати та точно виконувати встановлену систему знакової та звукової сигналізації.

На місці виконання вантажно-розвантажувальних робіт мають бути схеми стропування та перелік вантажів з указівкою їх маси.

Під час виконання робіт краном на залізничному ходу мають бути чітко визначені умови переміщення стріли під контактною мережею.

При роботі козлових і стрілових кранів біля контактної мережі і повітряних ліній, що перебувають під напругою, має відповідати вимогам «Правил охорони електричних мереж» НПАОП 60.1-1.48-00. Для запобігання ураження електричним струмом, установка та робота крана ближче 40 м від крайнього проводу повітряної лінії електропередачі напругою більше 42 В допускаються при наявності наряду-допуску на кран та письмового дозволу організації, що експлуатує цю лінію.

Забороняється перебігання колії перед рухомим складом, який наближається, а під час обходу вагонів, які стоять на колії, не дозволяється перетинання колії ближче 5 м від крайнього вагона, прохід між вагонами дозволяється при відстані між ними не менше 10 м.

ДОДАТОК В

ЗАХОДИ З ВИРОБНИЧОЇ САНІТАРІЇ ТА ГІГІЄНИ ПРАЦІ

Для запобігання переохолодження робітників в холодну погоду не об'єднано виділення теплого одягу відповідно Наказу № 62 від 12.05.2009 «Норми спец одягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту»

У темний час доби завантаження металопродукції дозволяються при освітленості місця робіт не менше 20 лк, заміряної в горизонтальній площині на рівні землі працівниками санітарно-епідеміологічної служби МОЗ України на залізничному транспорті. Освітлення облаштовується прожекторне, які розташовані на щоглах. ДБН В.2.5-28-2018 «Природне та штучне освітлення»

Оцінку рівня умов, важкості та напруженості праці за бальною шкалою розглядається на прикладі оцінки факторів виробничого середовища для дослідника лабораторії обладнаної ПК.

У відповідності до вихідних даних, які замірялися в лабораторії, вносимо їх до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Відповідно до додатків методичних вказівок [10], за витратами енергії, визначаємо категорію робіт для дослідника лабораторії обладнаної ПК. Умови праці, за витратами енергії, не перевищують 230 Вт та повинні відповідати легким фізичним роботам – категорії 2а.

З додатків [10], відповідно до категорії робіт 2а, розряду зорових робіт А-1 та виявлених показників умов та напруженості праці, визначаємо ГДК (ГДР) виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Для окремих факторів і показників за методикою визначеною «Гігієнічною класифікацією праці» [11], визначаємо розрахункові коефіцієнти $X_{визн}$ та вносять їх значення до стовпчика 5, таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою».

Таблиця В.2 – Результати оцінювання за бальною шкалою

Фактор (показник)	Виміряні показники $P_{вим}$	Час дії $год.(хв.)$	ГДК, ГДР, показники, $P_{доп}$	$X_{визн}$, бали	Клас умов праці	X_i , бали
1	2	3	4	5	6	7
Мікроклімат за ТНС-індексом, $t, ^\circ C$	26,5	10	22,0-25,1	3	3.3	3
Освітленість приміщення $E, лк$	430	10	500		3.1	1
Розряд і підрозряд зорових робіт, $З_{ор}$	A-1	—	—			
Рівень шуму $L, дБА$	108	6	65		3.4	3
Загальні енергозатрати організму, Bt	350	8	290	0,21	4	4
Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук)	61500	8	40000	1,54		
Тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни)	78	8	75	1,04		
Тривалість робочого дня, $год.$	10	10	8	0,23		

Для гігієнічної оцінки мікроклімату використовуємо ТНС-індекс, додаток Б [10]. Розрахунковий коефіцієнт $X_{визн}$ при оцінка мікроклімату визначаємо в балах, за формулою В.1:

$$X_{\text{визн}} = \frac{1 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2 + 3 \cdot t_3 + 4 \cdot t_4}{T} \quad (\text{B.1})$$

$$X_{\text{визн}} = \frac{3 \cdot 10}{10} = 3.$$

- для показників важкості та напруженості праці розрахункові коефіцієнти визначаються за основними та допоміжними показниками, що є характерними для конкретного робочого місця, за формулою 7.2:

а.) Загальні енергозатрати організму, $K_{\text{знач}} = 1,0$:

$$X_{\text{визн}} = \frac{\Pi_{\text{вим}} \cdot T \cdot K_{\text{знач}}}{8 \cdot P_{\text{доп}}} \quad (\text{B.2})$$

$$X_{\text{визн}} = \frac{350 \cdot 8 \cdot 1,0}{8 \cdot 290} = 1,21.$$

б.) Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), $K_{\text{знач}} = 1,0$:

$$X_{\text{визн}} = \frac{61000 \cdot 8 \cdot 1,0}{8 \cdot 40000} = 1,54.$$

в.) Тривалість зосередження уваги (% від часу зміни), $K_{\text{знач}} = 1,0$:

$$X_{\text{визн}} = \frac{78 \cdot 8 \cdot 1,0}{8 \cdot 75} = 1,04.$$

г.) Тривалість робочого дня (зміни), $K_{\text{знач}} = 0,15$:

$$X_{\text{визн}} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 0,15}{8 \cdot 8} = 0,23.$$

Визначаємо клас та ступінь шкідливості умов праці для кожного з виявлених факторів і показників та вносимо їх значення до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для мікроклімату, відповідно до значення розрахункового коефіцієнта $X_{\text{визн}} = 3$, з таблиці 7.2 [10] – 3 клас, 3 ступінь (3.3);

- при оцінці освітленості робочої зони приміщення, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до $P_{\text{вим}} = 430 \text{ лк}$, за додатками Г та табл. Г.1 [10] – 3 клас, 1 ступінь (3.1);

- для гігієнічної оцінки рівня шуму, клас та ступінь шкідливості умов праці визначаємо у відповідності до виміряного значення рівня шуму $P_{\text{вим}} = 108 \text{ дБА}$, за додатками Д та табл. Д.1 [10] – 3 клас, 4 ступінь (3.4);

- клас і ступінь важкості та напруженості праці визначаємо як суму розрахованих балів усіх показників $X_{\text{визн}}$ за формулою 7.3 [10]:

$$X_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{В.3})$$

$$X_{\text{сум}} = 1,21 + 1,54 + 1,04 + 0,23 = 4,02.$$

З таблиці 7.3 [10] за значенням суми розрахованих балів показників $X_{\text{сум}} = 4,02$ – 4 клас, 4 ступінь (4.4);

В результаті досліджень, відповідно до розрахунків, встановлено, що умови праці на робочому місці дослідника лабораторії обладнаної ПК належать до 4 класу, 4 ступеню.

Оскільки при гігієнічній оцінці виявлена наявність шкідливих та особливо шкідливих, важких та особливо важких умов праці, проводимо дослідження фактичного стану умов праці, з метою визначення розмірів доплат за

ступені шкідливості факторів виробничого середовища та показників важкості та напруженості праці за бальною шкалою, та вносимо їх значення до таблиці «Результати оцінювання за бальною шкалою»:

- для оцінки впливу мікроклімату, виходимо з того що він відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці, а час його дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 3$;

- при оцінці впливу освітленості, виходимо з того що вона відповідає 3 класу, 3 ступеню умов праці та діє протягом 10 годин, тому коректування не потрібно – $X_{cm} = X_i = 1$;

- для оцінки впливу шуму, виходимо з того, що його рівень відповідає 3 класу, 4 ступеню умов праці та діє протягом 6 годин, тому значення X_i визначаємо за формулою 7.4 [10]:

$$X_i = X_{cm} \cdot \frac{T}{8} \quad (\text{B.4})$$

$$X_i = 1 \cdot \frac{4 \cdot 6}{8} = 3.$$

- для оцінки впливу важкості та напруженості праці, виходимо з того що вони відповідають 3 класу, 4 ступеню умов праці, а час їх дії уже врахований, тому – $X_{cm} = X_i = 4$;

Для визначення конкретного розміру доплати, умови праці оцінюємо по сумі значень X_i , за формулою B.5 [10]:

$$X_{\text{факт}} = \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{B.5})$$

$$X_{\text{факт}} = 3 + 1 + 3 + 4 = 11.$$

Розмір доплати за умовами праці визначаємо в залежності від їх фактичного стану – $X_{факт} = 11$, на підставі Типового положення «Про оцінку умов праці на робочих місцях і порядок застосування галузевих переліків робіт, на яких можуть установлюватися доплати робітникам за умови праці», з таблиці 7.4 [10]. Розмір доплати до тарифної ставки (окладу) – 24 %.

На підставі результатів загальної гігієнічної оцінки умов праці за ступенем шкідливості та небезпечності, а також дослідження фактичного стану умов праці робимо висновки та пропозиції:

1. Умови, важкості та напруженості праці на робочому місці дослідника лабораторії, згідно результатів досліджень, належать до 3 класу, 3 ступеню (особливо важкі та особливо шкідливі умови праці), що не відповідає вимогам Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [11] до даного робочого місця;

2. Відповідно до класифікації умови, важкість та напруженість праці на робочому місці -дослідника належать до категорії 2а, тому необхідно привести ці умови у відповідність до нормативних значень, які відповідають оптимальним параметрам для категорії 2а, а саме:

- мікрокліматичні умови, за інтегральним показником теплового навантаження середовища - ТНС-індексом - 19,2-21,9°C;

- освітленість приміщення для роботи з дисплеями відповідає розряду зорових робіт А-1, нормована загальна освітленість якого, на робочих столах – $E = 500 \text{ лк}$;

- рівень шуму в робочій зоні дослідника – 65 дБА;

- загальні енергозатрати організму, до 232 Вт;

- стереотипні робочі рухи (кількість за зміну), при локальному навантаженні (за участю м'язів кистей та пальців рук), до 40000;

- тривалість зосередження уваги (в % від часу зміни), до 100%;

- тривалість робочого дня 8 год.

3. Для приведення умов, важкості та напруженості праці до вищезазначених показників необхідно передбачити комплекс заходів які забезпечать нормалізацію умов праці, наприклад [12]:

- для приведення мікрокліматичних умов до відповідності, необхідно забезпечити припливно-витяжну механічну вентиляцію та кондиціювання приміщення;

- для забезпечення нормованої освітленості приміщення яка відповідає розряду зорових робіт необхідно провести додаткові розрахунки та визначитися з потужністю ламп, типом ламп та світильників та їх раціональним розміщенням;

- для зниження рівня шуму в робочій зоні дослідника необхідно замість матричних принтерів застосувати лазерні; з метою зниження зовнішнього шуму замінити вікна на пластикові з трикамерним склопакетом;

- для зменшення загальних енергозатрат організму, необхідно скоротити тривалість робочого дня 8 год

- для зменшення напруженості праці від стереотипних рухів за зміну при локальному навантаженні кистей рук та пальців необхідно передбачити перерви, не менш 15 хвилин, кожні 1-2 години;

- для зменшення тривалості зосередження уваги, необхідно скоротити тривалість робочого дня, передбачити додаткові перерви.

4. Якщо, з об'єктивних причин, вищезазначені заходи неможливо виконати, необхідно забезпечити доплати до тарифної ставки (окладу) за особливо шкідливі та особливо важкі умови праці, відповідно до таблиці 7.4 [10], у розмірі 24%.