

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

С.М. Турпак

ТЕКСТИ (конспект) лекцій з дисципліни
«Моделювання транспортних процесів»
для студентів спеціальності
275 «Транспортні технології (за видами)»
усіх форм навчання

2024

Тексти (конспект) лекцій з дисципліни «Моделювання транспортних процесів» для студентів спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)» усіх форм навчання / Укл.: С.М. Турпак, О.О. Острогляд, О.О. Падченко, Т.В. Кальченко. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 126 с.

Укладачі: С.М. Турпак, професор, д-р техн. наук;
О.О. Острогляд, доцент, канд. техн. наук;
О.О. Падченко, ст. викл.;
Т.В. Кальченко, зав. навч. лаб.

Рецензент: О.Ф. Кузькін, професор, д-р техн. наук.

Відповідальний
за випуск: Г.О. Лебідь, старш. викладач.

Затверджено на засіданні
кафедри «Транспортні технології»
протокол № 2
від 08 серпня 2024 р.

Рекомендовано до видання
НМК Транспортного факультету
протокол № 2
від 22 серпня 2024 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1. Математичні моделі	5
Тема 2. Графічні моделі обслуговування транспортно-виробничих систем	20
Тема 3. Графічні моделі транспортно-логістичних систем	28
Тема 4. Моделювання при визначенні ефективності різних варіантів транспортних технологій	40
Тема 5. Врахування фактору впливу зовнішнього середовища в моделях транспортних процесів	44
Тема 6. Моделювання процесів вантажної роботи та раціональний розподіл людських ресурсів	69
Тема 7. Моделі прогнозування вантажопотоків	73
7.1 Дослідження динаміки вантажопотоку.....	73
7.2 Структурна характеристика динамічного ряду вантажопотоку.....	76
7.3 Основні аспекти побудови моделей прогнозування вантажопотоків.....	79
7.4 Побудова моделі вантажопотоку.....	80
Тема 8. Прогнозування планових показників ефективності використання рухомого складу на основі методів факторного та регресійного аналізу	95
8.1 Визначення факторів впливу на показники використання вагонів магістрального парку.....	95
Тема 9. Моделювання динамічних дискретних систем	109
Тема 10. Системи обслуговування пасажирів аеропорту в процесі взаємодії повітряного, автомобільного та залізничного транспорту	113
Список рекомендованої літератури	123
Додаток А. Результати моделювання процесів вивантаження та очищення вагонів.....	124

ВСТУП

Магістр з транспортних технологій потребує знань теоретичних основ моделювання, сфер його найбільш ефективного використання, видів моделей, етапів їх розробки, методів перевірки правильності, коректності та адекватності моделей та придбання практичних навичок у розробці імітаційних моделей із використанням сучасних програмних продуктів.

Конспект лекцій створено на основі реальних досліджень, які виконувались на кафедрі «Транспортні технології», в тому числі, студентами минулих років випуску.

ТЕМА 1. МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ

Математичні моделі класифікують на аналітичні та імітаційні (також використовується поняття аналітико-імітаційних моделей).

Аналітичні моделі - є функціональними співвідношеннями (системи алгебраїчних або диференціальних рівнянь. Наприклад, закон Ома - модель електричного кола.

Кожен розрахунок - рішення аналітичних моделей можна вважати проведенням експерименту. Це наочно і зручно для виявлення закономірностей. Складнощі виникають при побудові аналітичної моделі складної системи.

Із стрімким розвитком комп'ютерних технологій імітаційні моделі стають дедалі більш популярним інструментом для досліджень. Імітаційне моделювання, по суті – це створення певного комп'ютерного алгоритму, де можна врахувати безліч різноманітних умов та врахувати стохастичний характер процесів, що притаманно транспортним технологіям.

Розглянемо логістичний ланцюг доставки палива для агломераційного виробництва на прикладі металургійного підприємства ПАТ «Запоріжсталь». Стабільна робота агломераційного цеха забезпечується за умови якісного та своєчасного транспортного обслуговування.

Однією із головних компонент при виробництві агломерату є тверде паливо – вугілля та коксовий дріб'язок. Паливо до агломашин подається конвеєрним транспортом з бункерів, які є технологічними ємностями тимчасового зберігання. Заповнення бункерів здійснюється із залізничних вагонів за контактним графіком.

Несвоєчасне надходження палива до бункерів може призвести до зупинки усього виробничого циклу. Тому на металургійному підприємстві утворюється страховий запас вугілля на відкритих складах. За сучасних умов суттєво збільшилась кількість можливих варіантів транспортного обслуговування агломераційного цеху, особливо після розширення ринку надання послуг операторів з перевезень у власних вагонах.

Організація транспортного обслуговування аглофабрики є важливим та актуальним питанням. Структура вантажопотоків палива для аглофабрики наведена на рисунку 1.1.

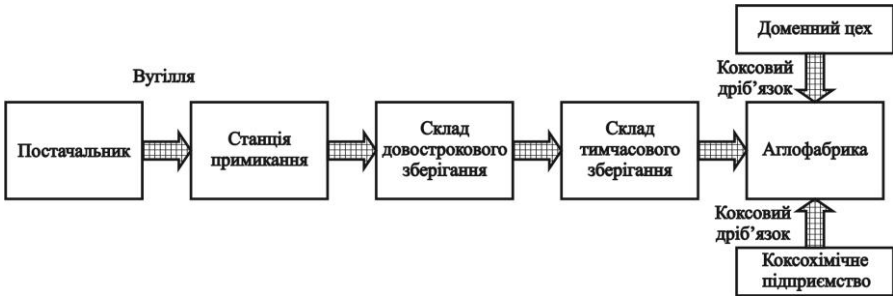


Рисунок 1.1 – Вантажопотоки палива для аглофабрики

Транспортно-технологічна схема доставки та вантажопереробки палива, згідно єдиного технологічного процесу роботи станції примикання та під'їзної колії, передбачає надходження вантажу у вагонах магістрального парку та розвантаження їх на відкритому складі. По мірі споживання, паливо навантажується у вагони місцевого парку, які подаються до приймальних бункерів аглофабрики, а звідти – подається до агломашин.

У якості палива окрім вугілля, все більше використовується коксовий дріб'язок, як власного виробництва, так і з коксохімічного підприємства. Для перевезень цього виду палива використовуються вагони місцевого парку.

Структура вагонопотоків палива для аглофабрики наведена на рисунку 1.2.

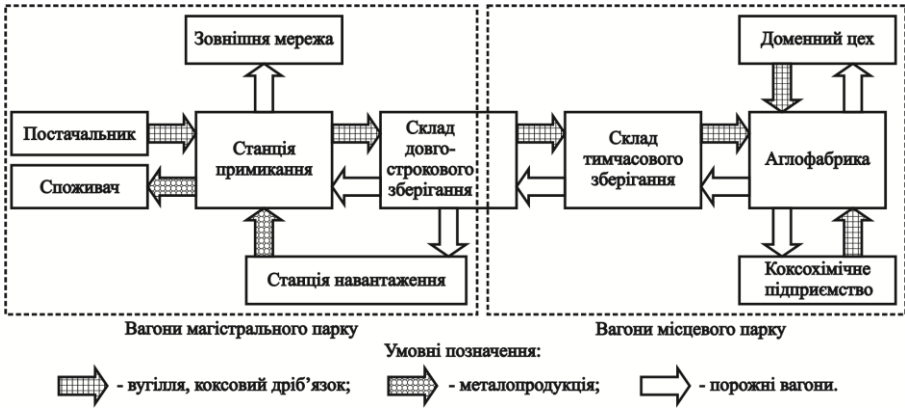


Рисунок 1.2 – Структура вагонопотоків палива для аглофабрики

Оптимізація роботи в зазначених умовах полягає в організації роботи за прямим варіантом роботи, з мінімальним використанням складу довгострокового зберігання. За таких умов збільшується вартість плати за користування вагонами, але зменшується обсяг маневрової та вантажної роботи; зменшується втрата вантажу внаслідок перевантаження; зменшуються витрати на утримання вагонів місцевого парку.

Особливістю перевезень являється імовірнісний характер обсягів надходжень коксового дріб'язку, що пов'язано з технологією роботи металургійного підприємства та якістю коксу. Тому важко розрахувати потрібний обсяг постачань палива з зовнішньої мережі та обсяг страхового запасу вантажу на складі довгострокового зберігання. Аналіз розподілу випадкової величини добового надходження коксового дріб'язку наведено на рисунках 1.3 та 1.4. Емпіричні розподіли більшою мірою відповідають нормальному закону розподілу випадкової величини, як за гістограмою, так і за критеріями згоди Пірсона та Колмогорова-Смірнова.

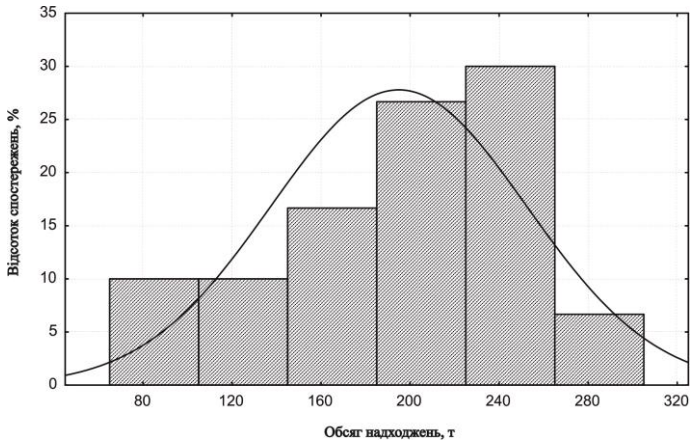


Рисунок 1.3 – Розподіл добових обсягів надходження коксового дріб'язку з коксохімічного підприємства

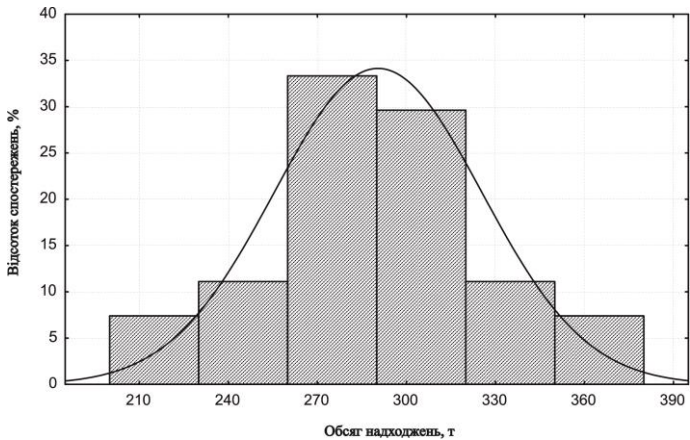


Рисунок 1.4 – Розподіл добових обсягів надходження коксового дріб'язку з доменного цеху

З урахуванням нерівномірного надходження палива, виконання контактного графіка потребує відвантаження зі складу довгострокового зберігання потрібної для виконання планового обсягу кількості вантажу. Надолуження планових об'ємів перевезень

Виходячи з формули (1.1), планова кількість вагонів $N_{\text{пр}}$ визначається загальною економічною ефективністю доставки, включаючи витрати на перевезення, вантажні роботи, втрати вантажу при перевантаженні тощо.

Для ефективної координації при управлінні транспортно-складськими процесами вантажопереробки та доставки вантажів необхідне створення відповідного інструментарію, який дозволив би оцінити різні управлінські рішення по можливому впливу на показники роботи усіх служб.

В умовах впливу багатьох факторів на роботу цієї системи, можливі різні варіанти організації перевізного процесу. Універсальним інструментом для розрахунків можливих ситуацій є імітаційне моделювання, але можна й створити аналітичну модель. Для якісного опису роботи транспортно-складської системи доставки та вантажопереробки потрібно сформуванню моделі.

Управління ланцюгами постачань в загальному вигляді можна розглядати, як автоматичні системи, які існують в техніці у вигляді різних автоматичних систем управління, систем автоматичного регулювання, систем, які стежать, та ін.

У автоматичної системи вихідна величина відтворює зміну вхідної величини, причому автоматичний пристрій реагує на неузгодження між вихідною та вхідною величинами. Система, яка стежить за процесом, має зворотний зв'язок виходу зі входом, що призначений для вимірювання результату дії системи.

Структура імітаційної моделі транспортно-складської системи доставки та вантажопереробки вантажів для металургійного виробництва з погляду теорії автоматичних систем управління концептуально може бути представлена у вигляді структури, показаної на рисунку 1.6.

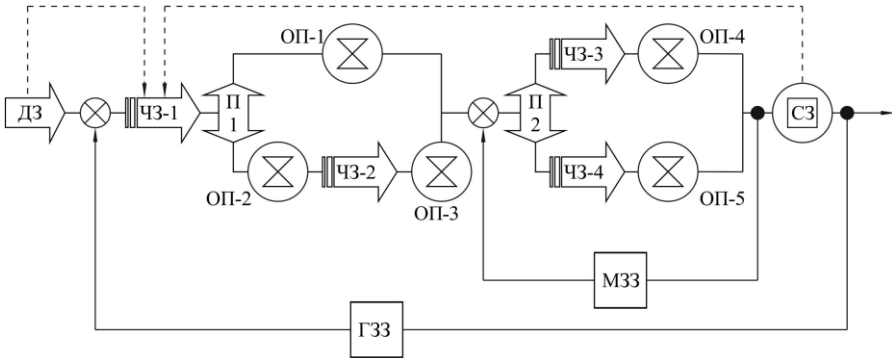


Рисунок 1.6 – Загальна структура імітаційної моделі системи доставки та вантажопереробки вантажів

В даній моделі використано наступні структурні елементи:

- вхідна величина – потік вагонів з певним вантажем, які надходять від постачальника на станцію примикання, що для імітаційної моделі фактично є джерелом заявок (ДЗ);

- датчиком неузгодженості є черга заявок-вагонів (ЧЗ-1), які знаходяться на вхідній промисловій станції. Для випадку, коли черга ЧЗ-1 переповнюється, використовується черга ЧЗ-2 – склад вантажу, який може вміщувати багатократно більші запаси, ніж ЧЗ-1;

- головним елементом автоматичного регулятора є вимірювальний пристрій, або чутливий елемент, що реагує на відхилення регульованої величини – черга заявок-вагонів ЧЗ-3 на станції, яка обслуговує цех-одержувач вантажу. В холодний період року вагони направляються до черги ЧЗ-4 пристрою розморожування вантажів (за необхідністю);

- такі елементи імітаційної моделі як обслуговуючі пристрої (ОП №1-5), перемикачі напрямку замовлень (П) є виконавчими пристроями системи автоматичного регулювання;

- об'єктом, процеси якого підлягають регулюванню, є цех-одержувач – в імітаційній моделі це стік замовлень (СЗ).

Управління автоматичним регулятором здійснюється за допомогою місцевого зворотного зв'язку (МЗЗ), тобто на рівні керівництва станції, яка обслуговує цех-одержувач. Як правило, це

регулювання дійсно наближено до автоматизму: вагони подаються по нитках контактного графіка.

Головний зворотний зв'язок (ГЗЗ) призначений для регулювання вхідного потоку вагонів відділом постачання на підставі даних виробничого відділу та відділу планування.

За критерій якості обслуговування цеха-одержувача можна прийняти мінімум витрат на доставку. В такому випадку цільова функція може бути представлена у вигляді:

$$C_3 = C_{\text{пл}} + C_{\text{ман}} + C_{\text{во}} + C_{\text{вт}} + C_{\text{мп}} + C_{\text{стр}} \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

де C_3 – загальні витрати на перевезення, грн;

$C_{\text{пл}}$ – вартість плати за користування вагонами магістрального парку, грн;

$C_{\text{ман}}$ – вартість маневрової роботи з вагонами на складі, грн;

$C_{\text{во}}$ – вартість вантажних робіт на складі, грн;

$C_{\text{вт}}$ – вартість витрат, пов'язаних з втратою вантажу внаслідок перевантаження на складі, грн;

$C_{\text{мп}}$ – вартість витрат на утримання вагонів місцевого парку, грн;

$C_{\text{стр}}$ – витрати на утримання страхового запасу, грн.

Вартість плати за користування вагонами магістрального парку розраховується за формулою:

$$C_{\text{пл}} = \sum_{i=1}^{n_m} f_{\text{пл}}(t_i), \quad (1.3)$$

де n_m – середня кількість вагонів магістрального парку з вантажем, од.;

$f_{\text{пл}}(t_i)$ – вартісна функція плати за користування i -м вагоном магістрального парку протягом часу t_i , грн.

Вартість маневрової роботи з вагонами на складі розраховується за формулою:

$$C_{\text{ман}} = 2 \frac{n_m - n_m^{\text{пр}}}{n_{\text{п}}} t_{\text{пл}} c_{\text{л}}, \quad (1.4)$$

де n_M^{pp} – кількість вагонів магістрального парку, які подаються за прямим варіантом, од.;

$n_{п}$ – середня кількість вагонів у составі, який передається на склад (зі складу), од.;

$t_{пп}$ – середній час роботи локомотива при подаванні та прибиранні одного составу, год.;

$c_{л}$ – вартість локомотиво-години маневрової роботи локомотива підприємства, грн/год. Прийнята однакова середня вантажопідйомність вагонів місцевого та магістрального парку (у протилежному випадку може виникнути необхідність корегувати коефіцієнт 2 в формулі (1.4)).

Вартість виконання вантажних робіт на складі розраховується за формулою:

$$C_{во} = 2(n_M - n_M^{pp}) \cdot t_{во} \cdot c_{во}, \quad (1.5)$$

де $t_{во}$ – час виконання вантажних операцій з вагоном, год.;

$c_{во}$ – вартість виконання вантажних операцій з вагоном, грн/год.

Збитки від втрати вантажу внаслідок перевантаження на складі розраховується за формулою:

$$C_{вт} = \frac{(n_M - n_M^{pp}) \cdot q_{ваг} \cdot k_{вт} \cdot c_{вант}}{100}, \quad (1.6)$$

де $q_{ваг}$ – середня кількість вантажу у вагоні, т;

$k_{вт}$ – коефіцієнт природної втрати при перевантаженні, %;

$c_{вант}$ – вартість однієї тони вантажу, грн/т.

Вартість утримання вагонів місцевого парку розраховуються за формулою:

$$C_{мп} = \frac{t_{об} (n_M - n_M^{pp})}{T_p^{мп}} \cdot c_{мп}, \quad (1.7)$$

де $t_{об}$ – середній час обороту одного вагона місцевого парку при перевезенні вантажу зі складу до цеха-споживача, год.;

$c_{мп}$ – вартість утримання одного вагона місцевого парку, грн/добу;

$T_p^{мп}$ – добовий фонд часу роботи вагонів місцевого парку, год.

Витрати на утримання страхового запасу розраховуються за формулою:

$$C_{стр} = (n_m - n_m^{пп}) q_{ваг} (c_{вант} k_o + c_{зб}), \quad (1.8)$$

де k_o – коефіцієнт витрат, які обумовлені змертвінням оборотних коштів;

$c_{зб}$ – витрати на зберігання однієї тони вантажу, грн/т.

Після підстановки усіх складових (1.3)-(1.8) до функції (1.2) отримаємо:

$$\begin{aligned} C_3 = & \sum_{i=1}^{n_m} f_{пл}(t_i) + 2 \frac{n_m - n_m^{пп}}{n_{пп}} t_{пп} c_{л} + 2(n_m - n_m^{пп}) t_{во} c_{во} + \\ & + \frac{(n_m - n_m^{пп}) q_{ваг} k_{вт} c_{вант}}{100} + \frac{t_{об} (n_m - n_m^{пп})}{T_p^{мп}} \cdot c_{мп} + \\ & + (n_m - n_m^{пп}) q_{ваг} (c_{вант} k_o + c_{зб}). \end{aligned} \quad (1.9)$$

Після спрощення (1.9) отримуємо цільову функцію:

$$\begin{aligned} C_3 = & \sum_{i=1}^{n_m} f_{пл}(t_i) + (n_m - n_m^{пп}) \times \\ & \times \left(2 \left(\frac{t_{пп} c_{л}}{n_{пп}} + t_{во} c_{во} \right) + \frac{t_{об} c_{мп}}{T_p^{мп}} + q_{ваг} (c_{зб} + c_{вант} (k_o + 0,01 k_{вт})) \right) \rightarrow \min \end{aligned} \quad (1.10)$$

при обмеженнях:

$$\begin{cases} n_m \geq n_m^{пп} > 0; \\ t_i, t_{пп}, t_{во}, t_{об}, n_{пп} > 0; \\ c_{л}, c_{во}, c_{мп}, c_{зб}, c_{вант}, T_p^{мп}, q_{ваг}, k_o, k_{вт} = const. \end{cases}$$

Згідно (1.10) значення виразу $(n_m - n_m^{пр})$ визначає розмір витрат, пов'язаних з доставкою вантажу для виробництва, та є розміром черги ЧЗ-1 в моделі управління ланцюгом постачань.

Оскільки функція розрахунку плати за користування вагонами $f_{пл}(t_i)$ є нелінійною, оптимізація (1.10) може бути виконана класичним методом динамічного програмування.

Розглянемо, як виглядає використання імітаційної моделі для визначення параметрів роботи при різних стратегіях доставки коксового дріб'язку. Прогони моделі здійснювались термінами один рік при різному параметрі обсягу складу на «колесах».

Аналіз результатів моделі показав, що при найбільшому запасі вантажу «на колесах», який можна допустити, виходячи з можливостей колійного розвитку станцій ПАТ «Запоріжсталь» (30 вагонів), деяка, порівняно незначна, кількість вантажу (1082 вагонів за рік) внаслідок ймовірного характеру надходження составів, все одно надійде на склад.

При роботі з мінімальним запасом «на колесах» з 5 піввагонів, кількість вагонів, які потрапляють на склад станції «Вугільна» становить 4148 вагонів на рік.

Результати моделювання наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Результати моделювання процесу доставки коксового дріб'язку

Варіант роботи	Максимально припустима кількість вагонів «складу на колесах»	Надходження вантажу на склад станції «Вугільна», вагонів	Максимальна кількість вантажу на складі станції «Вугільна», вагонів	Середня кількість вантажу на складі станції «Вугільна», вагонів	Середня кількість вантажу «на колесах», вагонів
1	2	3	4	5	6
1	5	4148	142	24	4
2	10	3568	102	19	8

Продовження табл. 1.1

1	2	3	4	5	6
3	15	3264	92	18	11
4	20	1919	62	5	12
5	25	1302	47	3	13
6	30	1082	35	2	13

Витрати за першим варіантом. Сумарні витрати підприємства пов'язані з перевезенням коксового дріб'язку через склади станції «Вугільна», визначаються за формулою:

$$Z_1 = Z_{\text{мех}} + Z_{\text{пл}} + Z_{\text{утр}} + Z_{\text{лок}} + Z_{\text{пер}}, \quad (1.11)$$

де $Z_{\text{мех}}$ – витрати на використання засобів механізації, грн;
 $Z_{\text{пл}}$ – витрати на плату за користування вагонами магістрального парку, грн;
 $Z_{\text{утр}}$ – витрати на утримання вагонів місцевого парку, грн;
 $Z_{\text{лок}}$ – витрати на маневрову роботу по станції Вугільна, грн;
 $Z_{\text{пер}}$ – витрати на перевезення вантажу, грн.

Витрати на використання засобів механізації визначаються за формулою:

$$Z_{\text{мех}} = 2 \cdot N_{\text{ваг}} \cdot C_{\text{вант}} (t_{\text{вивант}} + t_{\text{навант}}), \quad (1.12)$$

де $N_{\text{ваг}}$ – кількість вагонів, які надходять (відправляються) на (зі) склад(у) станції Вугільна, од. на рік.

$C_{\text{вант}}$ – вартість машино-години, грн/год.

$t_{\text{вивант}}$ – час на вивантаження одного вагону на склад станції «Вугільна», год.;

$t_{\text{навант}}$ – час навантаження одного вагону на складі станції «Вугільна», год.

Виконаємо розрахунки (вартісні показники прийняті за даними минулих років, що є непринциповим для розуміння вирішення нашого завдання) за формулою (1.12):

$$Z_{\text{мех}} = 4148 \cdot 2 \cdot 207,64 \cdot (0,06 + 0,1) = 275613,03 \text{ грн.}$$

Витрати на плату за користування вагонами магістрального парку розраховуються за формулою:

$$Z_{\text{пл}} = 365 \cdot 24 \cdot N_{\text{кол}} \cdot C_{\text{пл}}, \quad (1.13)$$

де $N_{\text{кол}}$ – середня кількість вагонів у «складі на колесах», од.;
 $C_{\text{пл}}$ – вартість плати за користування вагонами, $C_{\text{пл}} = 7,76$ грн/год.

Виконаємо розрахунки за формулою (1.13):

$$Z_{\text{пл}} = 365 \cdot 24 \cdot 4 \cdot 7,76 = 271910,4 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання вагонів місцевого парку визначаються за формулою:

$$Z_{\text{утр}} = 365 \cdot N_{\text{мп}} \cdot C_{\text{утр}}, \quad (1.14)$$

де $N_{\text{мп}}$ – кількість вагонів місцевого парку, $N_{\text{мп}} = 24$ од.;
 $C_{\text{утр}}$ – вартість утримання вагонів, $C_{\text{утр}} = 65,39$ грн/добу.
 Виконаємо розрахунки за формулою (1.14):

$$Z_{\text{пл}} = 365 \cdot 24 \cdot 65,39 = 572816,4 \text{ грн.}$$

Витрати на маневрову роботу по станції «Вугільна» визначаються за формулою:

$$Z_{\text{лок}} = N_{\text{ваг}} \cdot C_{\text{ман}} \cdot t_{\text{ман}} \quad (1.15)$$

де $C_{\text{ман}}$ – вартість маневрової роботи, $C_{\text{ман}} = 254,73$ грн/год.;
 $t_{\text{ман}}$ – середня тривалість маневрової роботи, яка приходить на один вагон, $t_{\text{ман}} = 0,25$ год.

Виконаємо розрахунки за формулою (1.15):

$$Z_{\text{лок}} = 4148 \cdot 254,73 \cdot 0,25 = 264155,01 \text{ грн.}$$

Витрати на перевезення вантажу розраховуються за формулою:

$$Z_{\text{пер}} = N_{\text{ваг}} \cdot q_{\text{вант}} \cdot C_{\text{пер}}, \quad (1.16)$$

де $q_{\text{вант}}$ – середня кількість вантажу у вагоні, $q_{\text{вант}} = 69$ тонн;
 $C_{\text{пер}}$ – собівартість перевезення тонни вантажу, $C_{\text{пер}} = 7,09$ грн/т.

Виконаємо розрахунки за формулою (1.16):

$$Z_{\text{пер}} = 4148 \cdot 69 \cdot 7,09 = 2029243,08 \text{ грн.}$$

Виконаємо розрахунки за формулою (1.11):

$$Z_1 = 275613,03 + 271910,4 + 572816,4 + 264155,01 + 2029243,08 = 3413737,92 \text{ грн.}$$

Витрати за іншими проектними варіантами. Сумарні витрати підприємства пов'язані з перевезенням коксового дріб'язку, розраховані за формулами (1.11 – 1.16) наведено у таблиці 1.2.

Таким чином, найбільш доцільним є проектний варіант №6 із максимально можливою (с позицій використання колійного розвитку) кількістю вагонів у запасі – 30 одиниць. Цей же результат отримано за допомогою функції (1.10).

Таблиця 1.2 – Розрахунок економічної ефективності проектних рішень, грн/рік

Варіант роботи	2	3	4	5	6
$Z_{\text{мех}}$	237075,05	216875,83	127507,57	86511,13	71893,27
$Z_{\text{пл}}$	543820,80	747753,60	815731,20	883708,80	883708,80
$Z_{\text{утр}}$	453479,65	429612,30	119336,75	71602,05	47734,70
$Z_{\text{лок}}$	227219,16	207859,68	122206,72	82914,62	68904,47
$Z_{\text{пер}}$	1745501,28	1596781,44	938793,99	636951,42	529325,22
$Z_{\text{пр}}$	3207095,94	3198882,85	2123576,23	1761688,02	1601566,46

Економія річних експлуатаційних витрат визначається за формулою:

$$E_p = Z_{\text{пр}} - Z_{\text{баз}}, \quad (1.17)$$

де $Z_{\text{баз}}$ – базовий варіант, за параметрами виконаних вище розрахунків відповідає варіанту №5.

Виконаємо розрахунки за формулою (1.17):

$$E_p = 1761688,02 - 1601566,46 = 160121,56 \text{ грн.}$$

ТЕМА 2. ГРАФІЧНІ МОДЕЛІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ

Основою перевезень металургійних підприємств є технологічні перевезення металів та шлаків у розплавленому стані та перевезення за контактними графіками. Враховуючи періодичні зміни у транспортному обслуговуванні деяких виробничих процесів, потребують регулярного перегляду контактні графіки. Значну практичну цінність мають програми та методики графічного аналізу перевезень. На кафедрі «Транспортні технології» використовується власна розробка - програма «TrainGraph» для побудови контактних та ін. графіків.

На рисунку 2.1 наведений приклад відображення контактних графіків перевезень виливниць та піддонів з ливарного цеху (ЛЦ) до цеху підготовки составів (ЦПС), чавуну у злитках зі складу холодного чавуну СХЧ до ЛЦ році (на екрані монітора нитки графіків виділяються різним кольором).

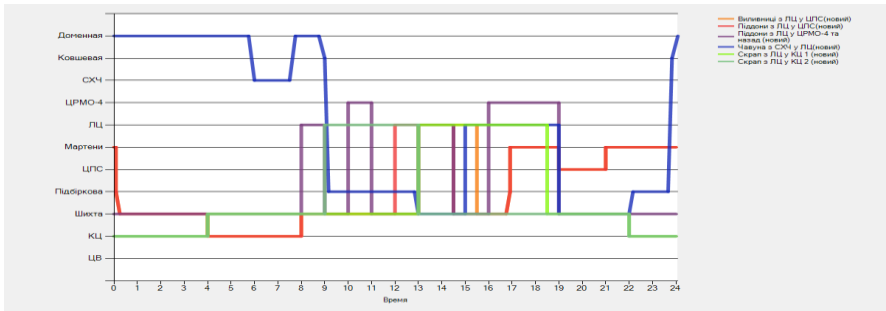


Рисунок 2.1 – Відображення графіків перевезень в програмному комплексі «TrainGraph»

Виходячи з візуального аналізу графіків, деякі перевезення можуть виконуватись одночасно. Наприклад, перевезення порожніх вагонів після вивантаження чавуну з ЛЦ на ст. Шихта можуть бути поєднані з перевезеннями виливниць з ЛЦ (19-та година графіку). При цьому скорочується час роботи локомотивів.

Контактні графіки регламентують узгоджені між цехами та транспортним підрозділом інтервали часу, коли вагони повинні знаходитись на вантажних фронтах та рух по перегонах. Внутрістанційні переміщення відображаються вертикальною лінією для наочності (цей момент часу на координатній осі може змінюватись в сторону збільшення після планового закінчення вантажних операцій, або зменшення – до їх початку, без узгодження з виробничими цехами).

Розглянемо шість маршрутів перевезень:

- ✓ виливниці з ЛЦ до ЦПС;
- ✓ піддони з ЛЦ до ЦПС;
- ✓ піддони з ЛЦ до ЦРМО-4 (цеху ремонту мартенівського обладнання №4);
- ✓ чавун з СХЧ до ЛЦ;
- ✓ скрап з ЛЦ до копрового цеху (КЦ), маршрут перевезень №1;
- ✓ скрап з ЛЦ до КЦ, маршрут перевезень №2.

При детальному аналізі цього графіку можна знайти можливості злиття певних ниток графіків. Так, для маршрутів №1, 3 та 5 можливо об'єднати всі переміщення у напрямку станція «Шихта» – ЛЦ (рисунок 2.2).

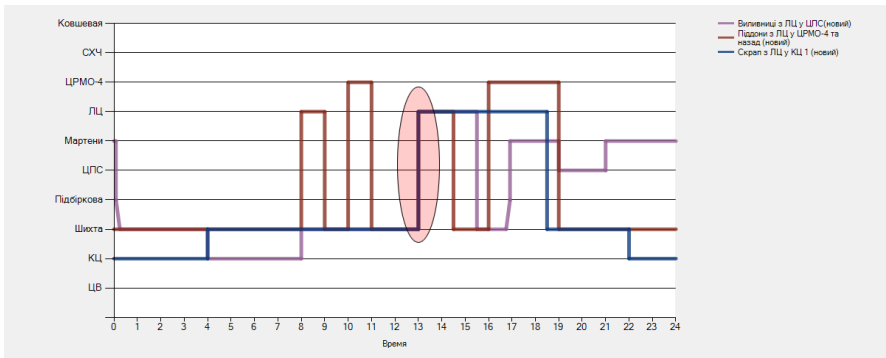


Рисунок 2.2 – Об'єднання ниток контактного графіку для маршрутів №1, 3 та 5

Якщо виконати ці перевезення на годину раніше, то можливо об'єднання з маршрутом №2 на цій же ділянці (рисунок 2.3).

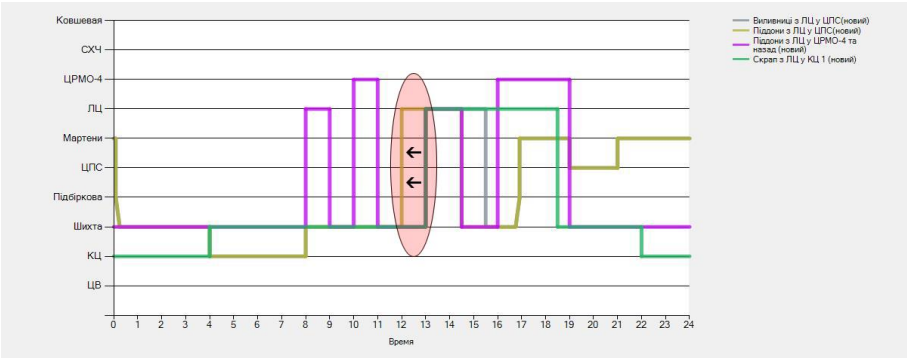


Рисунок 2.3 – Об'єднання маршрутів руху №1,3,5 та 2 на ділянці «Шихта» – ЛЦ

На ділянці руху ЛЦ – «Шихта» (14:30-15:30) для маршрутів №1 та 3 «Виливниці з ЛЦ до ЦПС» та «Піддони з ЛЦ до ЦРМО-4» виконується суміщення ниток графіків (рисунок 2.4).

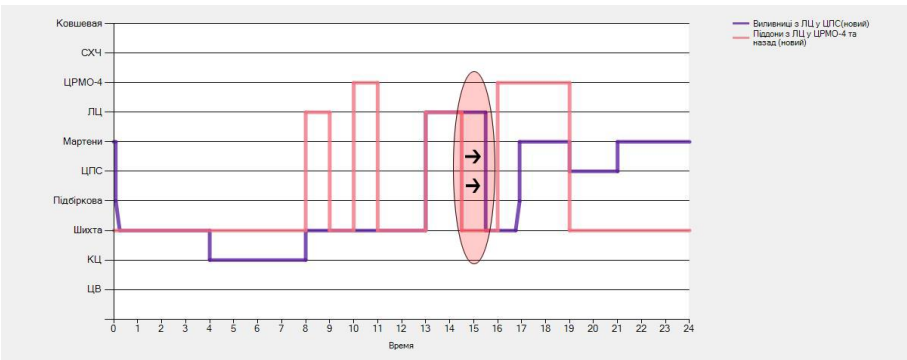


Рисунок 2.4 – Об'єднання маршрутів руху №1 та 3 на ділянці ЛЦ – «Шихта»

Аналогічним чином виконуються суміщення для маршрутів №4 та 5, 3 та 6, що зображено на рисунках 2.5 та 2.6 відповідно.

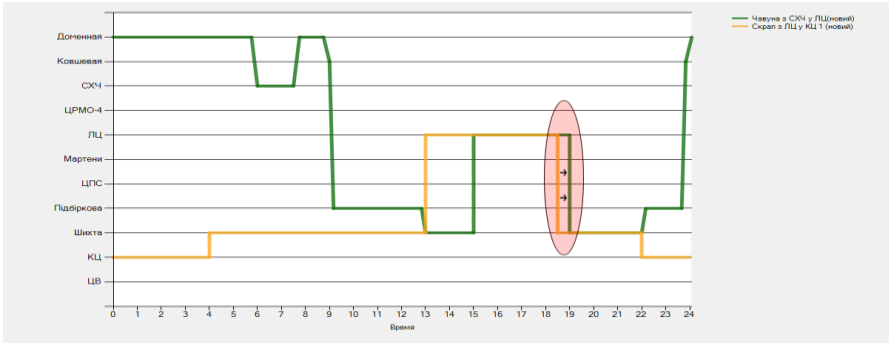


Рисунок 2.5 – Об'єднання маршрутів руху № 4 та 5 на ділянці ЛЦ – «Шихта»

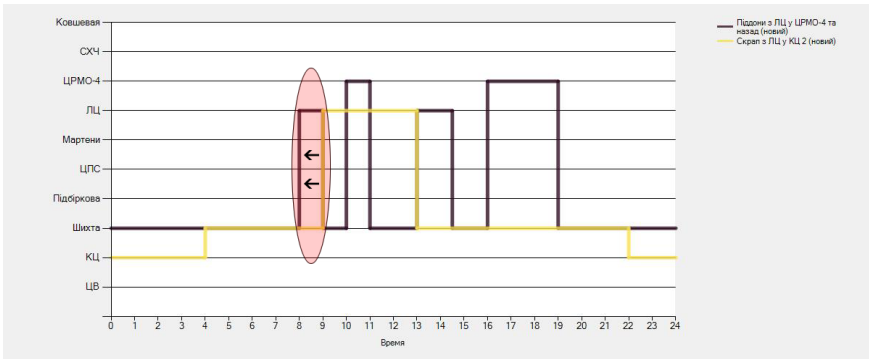


Рисунок 2.6 – Об'єднання маршрутів руху № 3 та 6 на ділянці «Шихта» – ЛЦ

На цьому робота з цими маршрутами перевезень завершена. Аналіз результатів корегування маршрутів перевезень наведений в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз результатів корегування маршрутів перевезень

Маршрути перевезень	Існуючі переміщення, од.	Проектні переміщення, од.
№3 (піддони з ЛЦ до ЦРМО-4), №6 (скрап з ЛЦ до КЦ)	2	1
№4 (чавун з СХЧ до ЛЦ), №5 (скрап з ЛЦ до КЦ)	2	1
№1 (випливної з ЛЦ до ЦПС), №3 (піддони з ЛЦ до ЦРМО-4)	2	1
№1 (випливної з ЛЦ до ЦПС), №3(піддони з ЛЦ до ЦРМО-4), №5 (скрап з ЛЦ до КЦ), №2 (піддони з ЛЦ до ЦПС)	4	1
Разом	10	4

Враховуючи зворотні холості пробіги локомотивів, кількість їх переміщень зменшено з 20 до 8 одиниць.

Розглянемо наступну вибірку з 9 номерів маршрутів перевезень інших залізничних районів (у дужках вказана нумерація однакових за назвою маршрутів перевезень):

- обрізки слябів (3);
- окалина до бункерів доменного цеху (2);
- окалина на шихтовий двір мартенівського цеху (1);
- окалина на шихтовий двір мартенівського цеху (2);
- окалина до бункерів доменного цеху (3);
- окалина до бункерів доменного цеху (1);
- обрізки слябів (4);
- обрізки слябів (1);
- обрізки слябів (2).

Сукупність ниток контактної графіки показана на рисунку 2.7.

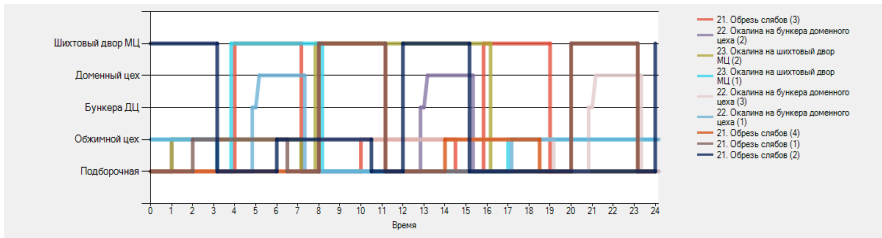


Рисунок 2.7 – Сукупність ниток контактної графіки для корегування

Шляхом попарного перегляду графіків знаходяться можливості їх об'єднання:

- маршрути №1 та 4 (рисунок 2.8);
- маршрути №1, 5 та 9 (рисунок 2.9);
- маршрути №2,3,7 та 8 (рисунок 2.10);
- маршрути №3 та 9 (рисунок 2.11);
- маршрути №4, 6 та 7 (рисунок 2.12);
- маршрути №5 та 7 (рисунок 2.13).

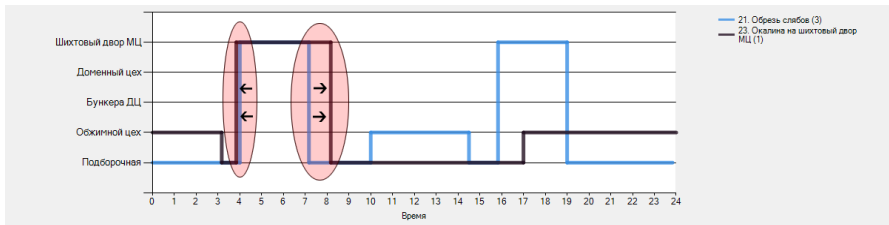


Рисунок 2.8 – Об'єднання маршрутів руху №3 та 6 на ділянках «Підбіркова – Шихтовий двір» та «Шихтовий двір – Підбіркова»

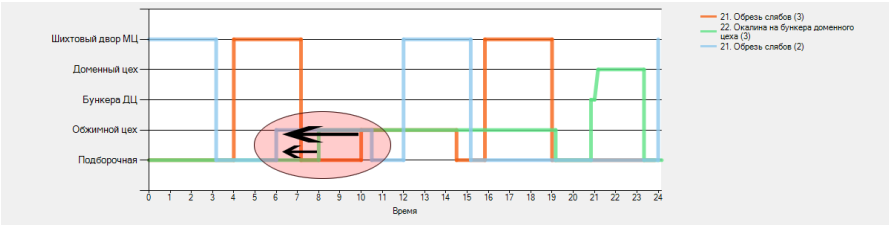


Рисунок 2.9 – Об'єднання маршрутів руху №1,5 та 9 на ділянках «Підбіркова – Шихтовий двір» та «Шихтовий двір – Підбіркова»

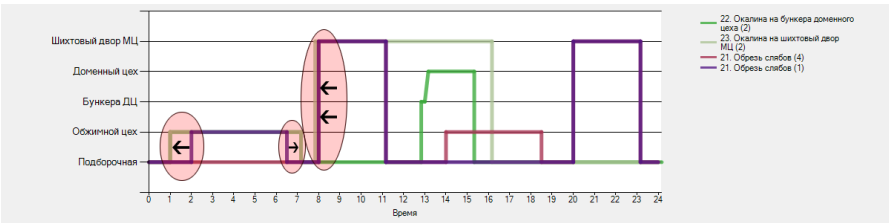


Рисунок 2.10 – Об'єднання маршрутів руху №2, 3 та 8 на ділянках «Підбіркова – Обтискний цех», «Обтискний цех – Підбіркова» та «Підбіркова – Шихтовий двір»

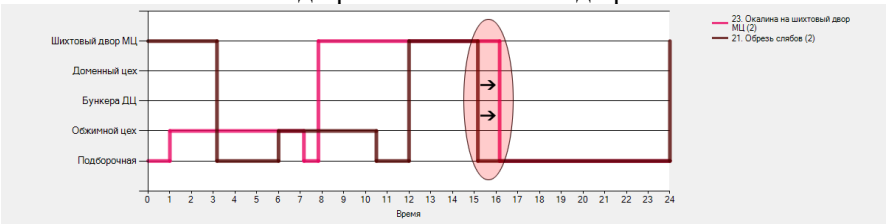


Рисунок 2.11 – Об'єднання маршрутів руху №3 та 9 на ділянці «Шихтовий двір – Підбіркова»

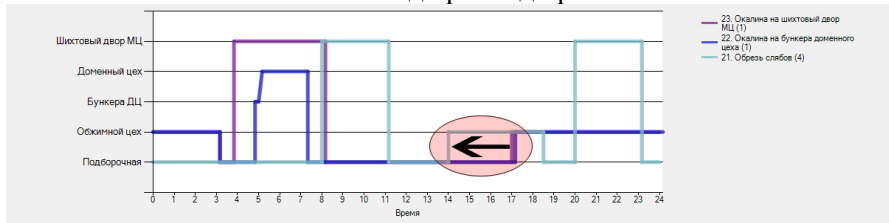


Рисунок 2.12 – Об'єднання маршрутів руху №4, 6 та 7 на ділянці «Підбіркова – Обтискний цех»

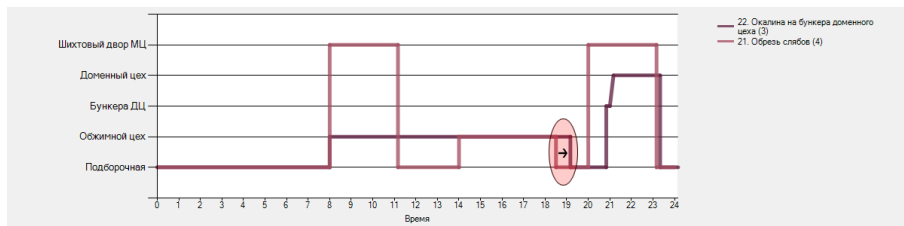


Рисунок 2.13 – Об'єднання маршрутів руху №5 та 7 на ділянці «Обтискний цех – Підбіркова»

Аналіз результатів корегування маршрутів перевезень наведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Аналіз результатів корегування маршрутів перевезень

Маршрути перевезень	Існуючі переміщення, од.	Проектні переміщення, од.
1 та 4	4	2
1,5 та 9	3	1
2,3,7 та 8	9	3
3 та 9	2	1
4,6 та 7	3	1
5 та 7	2	1
Разом	23	9

Економічний ефект від удосконалення контактних графіків за рахунок скорочення тривалості роботи локомотивів складає 54,3 тис. грн на рік.

ТЕМА 3. ГРАФІЧНІ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ

На рисунку 3.1 представлено організаційно-технологічну структуру транспортно-логістичної системи при перевезенні вантажів на експорт, на прикладі ПАТ «Запоріжсталь».

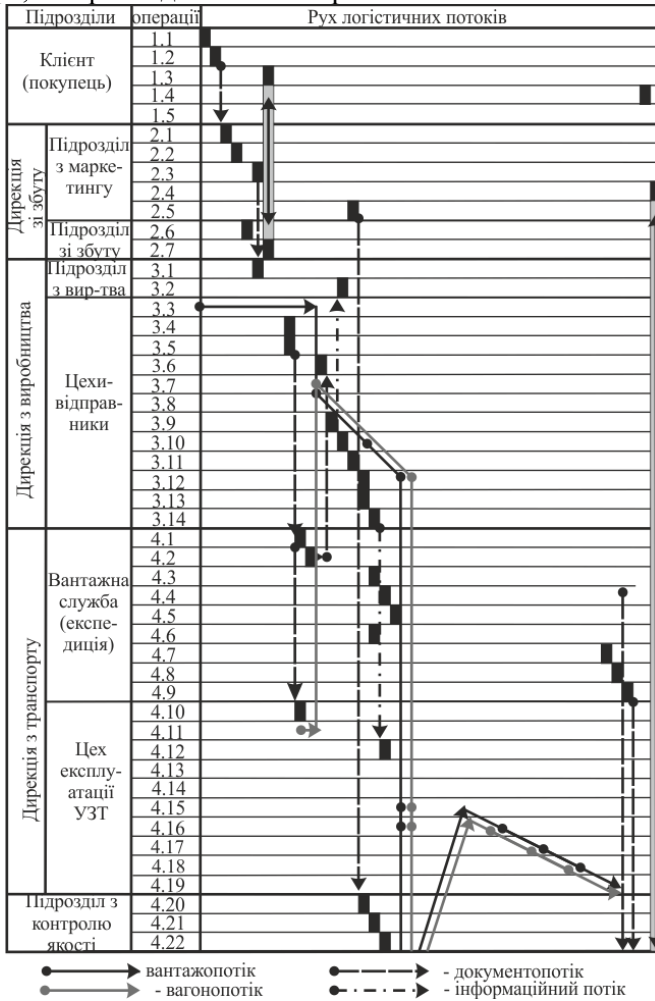


Рисунок 3.1 – Графічна модель відправлення продукції на експорт

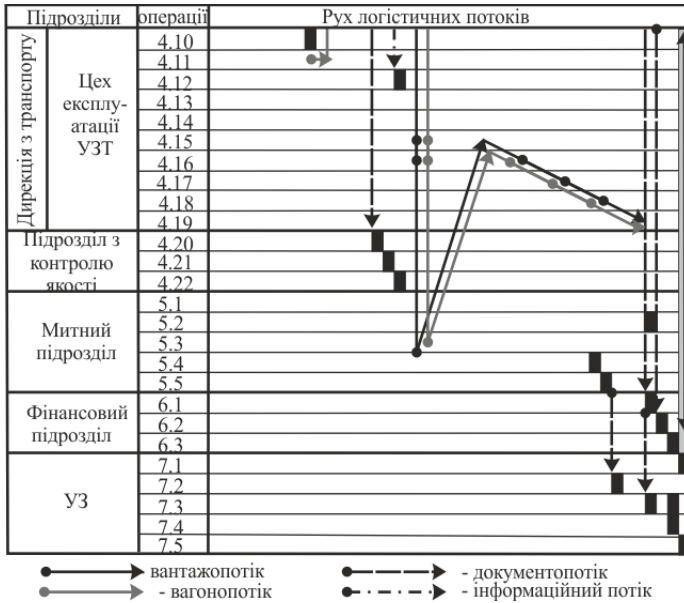


Рисунок 3.1, аркуш 2

Початковим етапом роботи є складання листа-заявки на поставку продукції клієнту (рис. 3.1, операція 1.1). Листи-заявки доставляють в підрозділ з маркетингу (рис. 3.1, операція 1.2).

Після реєстрації листа-заявки (рис. 3.1, операція 2.1), він повинен бути розглянутий та завізований керівником підрозділу з маркетингу (рис. 3.1, операція 2.2).

Підрозділ зі збуту аналізує лист-заявку замовника на достатність та однозначність вимог до продукції і умовам її доставки (рис. 3.1, операція 2.6).

Підрозділ з виробництва, на основі попиту на продукцію планує виробництво (рис. 3.1, операція 3.1), у цей же час підрозділ з маркетингу планує постачання продукції клієнтам (рис. 3.1, операція 2.3).

Наступним етапом є формування контракту між клієнтом і підрозділом зі збуту (рис. 3.1, операції 1.3-2.7), після чого клієнт може почати підготовку до приймання вантажу (рис. 3.1, операція 1.4).

Підрозділ з маркетингу дає завдання підрозділу з контролю якості забезпечити вантаж сертифікатами якості (рис. 3.1, операція 2.5), через автоматизовану систему управління (АСУ).

Підрозділ контролю якості, отримавши завдання (рис. 3.1, операція 4.20), оформляє сертифікати якості на вантаж (рис. 3.1, операція 4.21), після чого їх передають (рис. 3.1, операція 4.22) до вантажної служби (експедиції).

Цехи-відправники готової продукції надають у цех експлуатації УЗТ через АСУ добові заявки на потрібну кількість вагонів під вантаження готової продукції (рис. 3.1, операція 3.4) та заявки на оформлення електронних перевізних документів (ЕПД), вводять номери вагонів і присвоюють номери макету ЕПД (рис. 3.1, операція 3.5).

Вантажна служба (експедиція) УЗТ приймає від цехів електронні заявки на формування макету ЕПД та формує у базі АСУ комбінату відповідно до електронних заявок макет ЕПД (рис. 3.1, операція 4.1), та відповідно заявкам оформлює макети ЕПД (рис. 3.1, операція 4.2) і передає їх до цехів (рис. 3.1, операція 4.3) через АСУПП.

Цех експлуатації УЗТ (ЦЕ УЗТ) приймає заявки на подачу порожніх вагонів під навантаження (рис. 3.1, операція 4.10) та подає порожні вагони відповідно до заявок (рис. 3.1, операція 4.11). Впродовж усього часу на складах, відкритих ділянках цехів зберігається вантаж (рис. 3.1, операція 3.3) в очікуванні перевезення.

Цехи-відправники отримують макет ЕПД (рис. 3.1, операція 3.6) через АСУ комбінату та у цей час прибувають порожні вагони, готові до навантаження (рис. 3.1, операція 3.7). Вантаж завантажують у подані вагони (рис. 3.1, операція 3.8). Процес відвантаження готової продукції контролює підрозділ з виробництва (рис. 3.1, операція 3.2). Цехи оформлюють ЕПД (рис. 3.1, операція 3.9), куди вносять дані в макет ЕПД, сформований експедицією УЗТ.

Оформлює ЕПД прийомоздавач станції, у електронній формі. Після чого вагони з вантажем зважують прийомоздавачі цеха ваговимірювальних систем (рис. 3.1, операція 3.10), та вносять дані до ЕПД (рис. 3.1, операція 3.11). На вагони наносять крейдову розмітку (рис. 3.1, операція 3.12), яка представляє собою інформацію, що відповідає за напрям руху рухомого складу. Вантажна служба формує

завдання на проходження вагонами радіологічного контролю (рис. 3.1, операція 4.6).

При готовності рухомого складу машиніст передає інформацію диспетчеру ЦЕ УЗТ (рис. 3.1, операція 3.14), який отримує інформацію по радіозв'язку (рис. 3.1, операція 4.12) й організовує прибирання вагонів з вантажного фронту (рис. 3.1, операція 4.13) та подає їх до митного підрозділу для проходження радіологічного контролю (рис. 3.1, операція 4.14).

ЕПД передається прийомоздавачем ЦТВС, до вантажної служби, через АСУ (рис. 3.1, операція 3.13).

Вантажна служба приймає заповнений ЕПД (рис. 3.1, операція 4.3), після цього обов'язково накладають електронний цифровий підпис (ЕЦП) (рис. 3.1, операція 4.4).

При відправленні вантажу на експорт, ЕПД роздруковують на спеціальних бланках СМГС (рис. 3.1, операція 4.5). При отриманні сертифікатів, прийомоздавач складає комплект перевізних документів (рис. 3.1, операція 4.7) та передає його укладачеві разом із здавальною відомістю, для оформлення радіологічного контролю та митних операцій.

Зразки сертифікатів якості направляють до головної бухгалтерії, зразок ЕПД передається в електронному вигляді (рис. 3.1, операція 4.8), через систему АСУ.

Підсумки щодо витрачених коштів на перевезення вантажу передаються до фінансового відділу (рис. 3.1, операція 4.9).

Фінансовий відділ, при отриманні звіту про витрачені кошти (рис. 3.1, операція 6.2) та зразків сертифікатів якості (рис. 3.1, операція 6.1), формує рахунок-фактуру (рис. 3.1, операція 6.3).

Митний підрозділ забезпечує проходження вагонами радіологічного контролю (рис. 3.1, операція 5.1) та надає висновки, оформлює документи у відповідних графах (рис. 3.1, операція 5.2), які передаються разом з вагонами на станцію (рис. 3.1, операція 5.3).

Далі оформлюється квитанція про приймання вантажу до перевезення (рис. 3.1, операція 5.4) та передається на залізницю через систему АСУ (рис. 1, операція 5.5). Робітники ЦЕ УЗТ забезпечують перестановку вагонів з цеху на станцію (рис. 3.1, операція 4.15), списують состав для обліку вагонів (рис. 3.1, операція 4.16) та формують состав на експорт (рис. 3.1, операція 4.17). В цей час вагони очікують оформлення документів з митного підрозділу (рис. 3.1,

операція 4.18), після чого подається локомотив, та состав відправляється на станцію примикання (рис. 3.1, операція 4.19).

Станція примикання отримує квитанцію про приймання вантажу до перевезення (рис. 3.1, операція 7.2), отримує ЕПД у електронному вигляді (рис. 3.1, операція 7.3). Паке́т перевізних документів прибуває (рис. 3.1, операція 7.3) разом із вагонами (рис. 3.1, операція 7.4).

По завершенні цих етапів починається перевезення вантажу одержувачу магістральним транспортом (рис. 3.1, операція 7.5).

Персонал залізниці веде постійний контроль за перевезенням вантажу (рис. 3.1, операція 7.1), а підрозділ з маркетингу підприємства-відправника контролює подальше просування продукції на адресу клієнта (рис. 3.1, операція 2.4), завдяки постійній підтримці зв'язку із залізницею.

Вище розглянута структура організації транспортно-технологічних процесів доставки (рис. 3.1), може бути при необхідності спрощена, наприклад, при відсутності потреби у виконанні митних операцій (рис. 3.2).

Аналогічно розглянемо роботу мікрологістичної системи доставки продукції окремого підрозділу – цеху шлакопереробки (ЦШП).

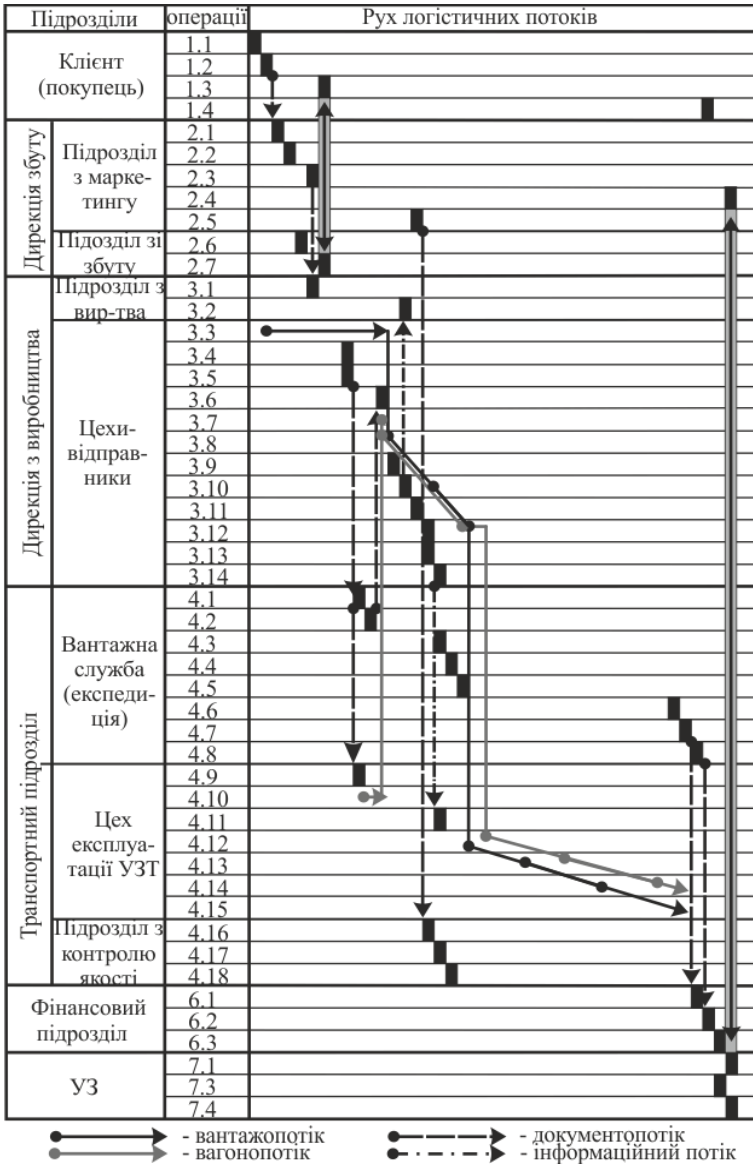


Рисунок 3.2 – Графічна модель відправлення продукції споживачам України

На рис. 3.3 показано графічну модель доставки доменного шлаку.

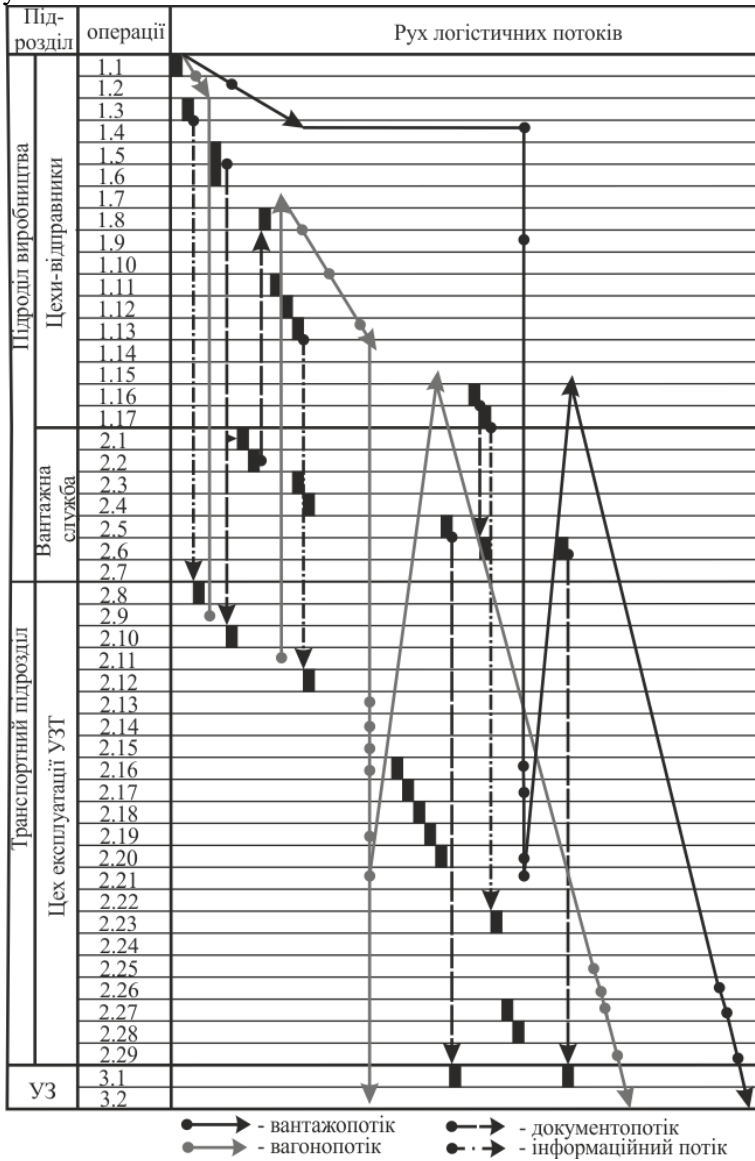


Рисунок 3.3 – Графічна модель доставки доменного шлаку

На станцію навантаження підприємства прибувають думпкари та розвантажуються на ділянці зневоднення шлаку (рис. 3.3, операції 1.1-1.2). Машиніст передає інформацію диспетчеру ЦЕ УЗТ про готовність порожніх думпкарів до відправлення (рис. 3.3, операція 1.3). Диспетчер ЦЕ УЗТ отримує інформацію по радіозв'язку (рис. 3.3, операція 2.8) та організовує їх прибирання зі станції (рис. 3.3, операція 2.9). Доки відбувається процес зневоднення шлаку (рис. 3.3, операція 1.4), ЦШП вводить заявки в АСУ комбінату на оформлення ЕПД; присвоює номер макету ЕПД (рис. 3.3, операція 1.6), формує в електронному вигляді заявки на порожні піввагони (рис. 3.3, операція 1.5). Вантажна служба УЗТ приймає від ЦШП електронну заявку та формує у базі АСУ комбінату відповідно до електронних заявок макети ЕПД і передає їх до ЦШП (рис. 3.3, операція 2.2) через АСУ. Персонал ЦЕ УЗТ приймає заявки на подачу порожніх вагонів під навантаження (рис. 3.3, операція 2.10) та подає вагони (рис. 3.3, операція 2.11).

ЦШП отримує макет ЕПД (рис. 3.3, операція 1.8), оформлює його (рис. 3.3, операція 1.11). В цей час подаються порожні піввагони під навантаження (рис. 3.3, операція 1.7). У вагони навантажують гранульований шлак (рис. 3.3, операція 1.9), що вже зневоднений. На завантажені вагони наносять крейдову розмітку (рис. 3.3, операція 1.10). Машиніст передає інформацію про готовність рухомого складу до відправлення зі станції навантаження (рис. 3.3, операція 1.13). Персонал ЦЕ УЗТ отримує інформацію по радіозв'язку (рис. 3.3, операція 2.12) та забезпечує прибирання рухомого складу зі станції (рис. 3.3, операція 2.13). На станції відправлення підприємства наносять крейдову розмітку та формують рухомий склад (рис. 3.3, операція 2.14). Після цього прийомоздавальник списує номер вагонів (рис. 3.3, операція 2.15).

Доки вагони рухаються у напрямку до ваг, ЕПД з вагонним листом передають до вантажної служби (рис. 3.3, операція 2.3). На ЕПД накладають електронний підпис (рис. 3.3, операція 2.4), після чого піввагони зважують (рис. 3.3, операція 2.16). Прийомоздавальник заносить вагу піввагонів до ЕПД (рис. 3.3, операція 2.17). На обмінному пункті при станції примикання роздруковують результати зважування (рис. 3.3, операція 2.18). При виявленні вагонів з перенавантаженням їх відчіплюють від рухомого складу та відправляють на станцію навантаження (рис. 3.3, операція 2.19).

Працівникам станції передають документи на вагони, у яких не перевищена норма завантаження (рис. 3.3, операція 2.5). На станцію примикання передаються вагони з неперевищеною нормою завантаження (рис. 3.3, операція 2.22). Персонал залізниці приймає перевізні документи (рис. 3.3, операція 3.1) та піввагони з вантажем (рис. 3.3, операція 3.2). На вагони з перенавантаженням складають акти (рис. 3.3, операція 2.20). Станція навантаження підприємства приймає вагони, у яких перевищена норма завантаження, та забезпечує вивантаження надлишкової частини шлаку (рис. 3.3, операція 1.15). ЕПД після перевірки з базою АСУ та з наявними вагонами, знову передається до вантажної служби (рис. 3.3, операція 1.16). ЕПД отримує вантажна служба, за якою прийматимуться вагони (рис. 3.3, операція 2.6). Надалі виконуються операції по відправленню вагонів на станцію примикання.

Недоліками існуючої системи є перепробіг рухомого складу під час повернення перевантажених вагонів. Розглянемо можливість удосконалення розглянутої системи.

Стан функціонування системи відправлення продукції ЦШП можна описати таким чином. Нехай вся множина операцій ЦШП Q_{ls} на певний момент часу складається з підмножин операцій: Т – операції з рухомим складом; Д – операції з документами; В – операції з вантажем:

$$Q_{ls} \subset (T \cup D \cup B). \quad (3.1)$$

У той же час множина Т складається з підмножин, що включають у себе:

- прибирання порожніх вагонів Т₁;
- подавання порожніх вагонів під навантаження Т₂;
- перевезення вантажу у вагонах до станції відправлення і його зважування Т₃;
- перевезення вантажу на станцію навантаження для вивантаження надлишкової частини вантажу з вагонів Т₄;
- перевезення вантажу до станції відправлення для його повторного зважування Т₅;
- нанесення розмітки на вагони Т₆;
- формування рухомого складу Т₇;

$$T \subset [\{T_1\} \cup \{T_2\} \cup \{T_3\} \cup \{T_4\} \cup \{T_5\} \cup \{T_6\} \cup \{T_7\}]. \quad (3.2)$$

Множина D , яка визначає операції з документами, складається з підмножин:

- оформлення макету ЕПД (D_1);
- оформлення ЕПД (D_2);
- занесення ваги вантажу до ЕПД (D_3);
- оформлення акту загальної форми (D_4);
- накладання електронного підпису (D_5);

$$D \subset [\{D_1\} \cup \{D_2\} \cup \{D_3\} \cup \{D_4\} \cup \{D_5\}]. \quad (3.3)$$

Величина B , що характеризує собою операції з вантажем, складається з підмножин:

- вивантаження (B_1);
- зневоднення вантажу (B_2);
- завантаження вантажу у вагони (B_3);
- зважування (B_4);
- відвантаження надлишкової частини вантажу (B_5);
- огляд та підготовка вагонів до відправлення (B_6);

$$B \subset [\{B_1\} \cup \{B_2\} \cup \{B_3\} \cup \{B_4\} \cup \{B_5\} \cup \{B_6\}]. \quad (3.4)$$

Ступінь складності множини операцій в мікрологістичній системі буде змінюватись в залежності від тривалості кожної з них, критерієм оптимальності приймаємо мінімум загального часу на операції:

$$Q_s \rightarrow \min. \quad (3.5)$$

На рис. 3.4 представлена удосконалена шляхом поетапного аналізу та узгодження транспортно-складських процесів графічна модель доставки шлаку.

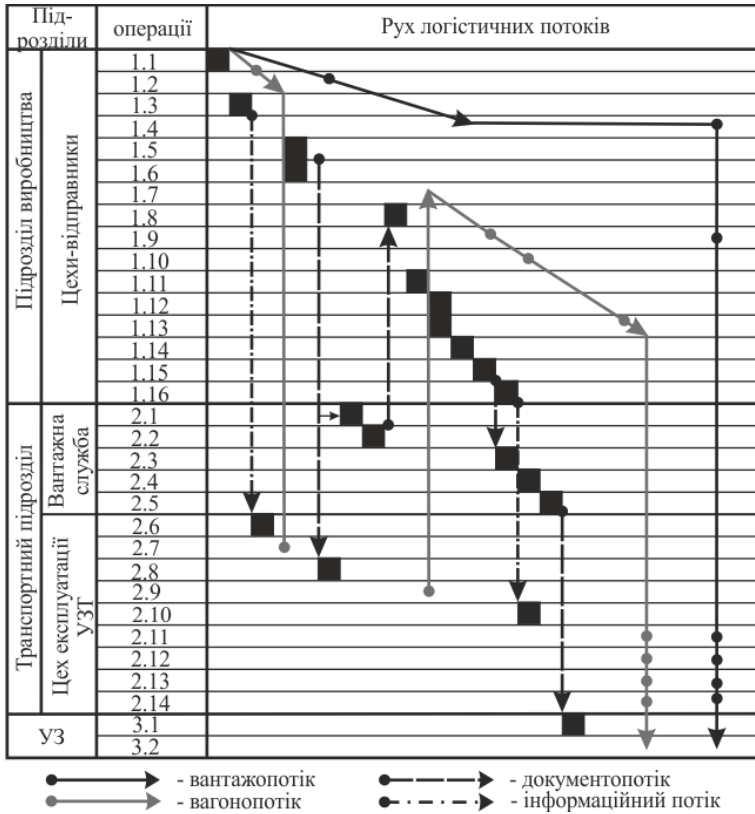


Рисунок 34 – Удосконалена графічна модель доставки шлаку

Опишемо стан функціонування удосконаленої МЛС відправлення продукції ЦШП Q_{ols} :

$$Q_{ols} \subset (T \cup D \cup B). \quad (3.6)$$

Множина T складається з підмножин:

$$T \subset [\{T_1\} \cup \{T_2\} \cup \{T_3\} \cup \{T_7\}]. \quad (3.7)$$

Множина D , яка визначає операції з документами, складається з наступних підмножин:

$$D \subset [\{D_1\} \cup \{D_2\} \cup \{D_5\}]. \quad (3.8)$$

Множина B складається з наступних підмножин:

$$B \subset [\{B_1\} \cup \{B_2\} \cup \{B_3\} \cup \{B_4\} \cup \{B_6\}]. \quad (3.9)$$

На відміну від існуючої системи, в удосконаленій був зменшений загальний термін доставки вантажу, переважно за рахунок виключення деяких операцій з рухомим складом (T_4 , T_5 , T_6).

Крім того, зникла необхідність у виконанні деяких вантажних операцій (B_5) та операцій з оформлення документів (D_3 , D_4).

Виконані дослідження дозволили розробити систему взаємодії потокових процесів для основних загальних варіантів організації доставки готової продукції металургійних підприємств.

На підставі цих систем можливе формування мікрологістичних систем окремих підрозділів підприємства для подальшого аналізу та удосконалення.

Запропонований графоаналітичний метод дозволяє виявити зайві зв'язки між елементами транспортної системи, що розглядається, та забезпечити можливість її удосконалення та підвищення ефективності перевезень.

Отримані результати дослідження на залізничному транспорті металургійних підприємств не можуть бути використані як універсальні. Вони можуть бути прийняті за основу при подальших розробках для відокремлених транспортних систем з урахуванням конкретних виробничих, транспортних та інших технологічних факторів.

Аналогічні моделі можуть розроблятися при здійсненні транспортно-експедиторської діяльності в процесі перевезень експортних, імпорتنих, транзитних або інших вантажів.

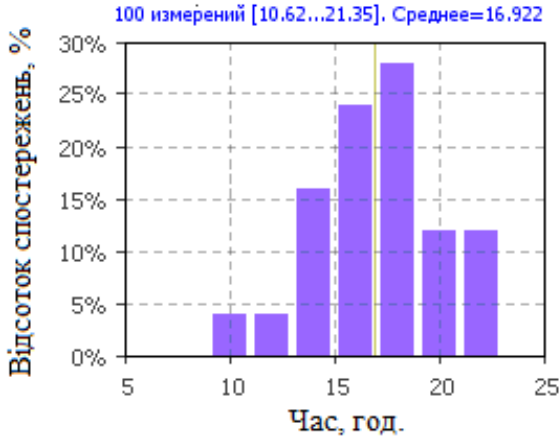


Рисунок 4.2 – Тривалість обороту при використанні піввагонів та 9 вантажників



Рисунок 4.3 – Тривалість обороту при використанні піввагонів та 5 вантажників

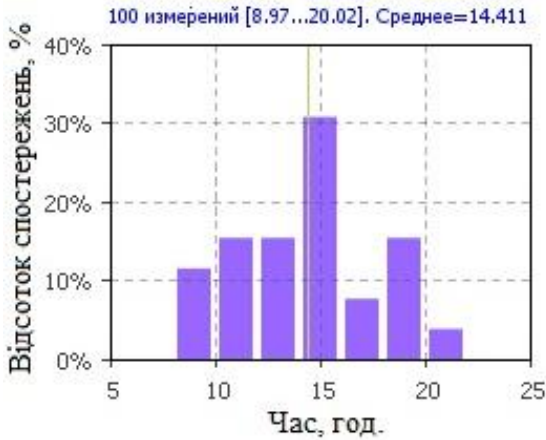


Рисунок 4.4 – Тривалість обороту при використанні хоперів

За допомогою імітаційної моделі були уточнені попередньо виконані аналітичні розрахунки часу знаходження вагонів на під'їзній колії. Середній час обороту вагонів становить:

- при використанні піввагонів та 9 вантажників: 16,9 годин (10,9 годин – аналітичний розрахунок);
- при використанні піввагонів та 5 вантажників: 50,5 годин (18,9 годин – аналітичний розрахунок);
- при використанні хоперів: 14,4 годин (9,8 годин – аналітичний розрахунок).

Результат для піввагонів при п'яти вантажниках суттєво відрізняється від аналітичного розрахунку. При збільшенні часу знаходження вагонів під вивантаженням значно частіше виникають конфлікти з вивантаженням вагонів з іншими вантажами, що й призводить до цього збільшення, яке досить важко встановити традиційними аналітичними розрахунками.

В залежності від встановленої тривалості часу знаходження вагонів на під'їзній колії, вартості тарифу на перевезення та плати за користування вагонами (що залежить від діючих на момент виконання розрахунків ринкових умов) може бути обґрунтований той чи інший варіант організації доставки вапняку.

В залежності від типу транспортних засобів може відрізнитись їх вантажопідйомність, що призводить до зміни загальної кількості перевезених вагонів.

Обсяг маневрової роботи також відрізняється по варіантах: при використанні хоперів локомотив подає повітря до їх систем розвантаження та, зазвичай, знаходиться у вантажному пункті протягом усього процесу вивантаження; при використанні вагонів локомотив подає вагони та забирає їх після закінчення вивантаження. Крім того, при необхідності (наприклад, транспортного обслуговування за контактним графіком), допускається виконання маневрів з частково вивантаженою подачею вагонів для тимчасового звільнення вантажного фронту. Всі ці особливості враховує імітаційна модель.

У разі змін технології вивантаження та ін. можливе відповідне корегування моделі. Наприклад, в умовах ПАТ «Запоріжсталь» вапняк подається під вивантаження на станцію Аглофабрика за маршрутом прямування через станції Східна та Південна. В умовах ремонту доменних печей, можлива необхідність подавання вагонів за маршрутом прямування через станції Східна та Підбіркова. В залежності від типу та кількості локомотивів може змінюватись вагова норма составі поїздів.

В зимовий період враховується необхідність відновлення сипкості вапняку при температурі навколишнього середовища нижче нуля.

ТЕМА 5. ВРАХУВАННЯ ФАКТОРУ ВПЛИВУ ЗОВНІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В МОДЕЛЯХ ТРАНСПОРТНИХ ПРОЦЕСІВ

При розробці типової імітаційної моделі доставки вантажів в умовах їх розморожування необхідно врахувати наступні особливості транспортної системи:

- вагони зі змерзлими вантажами надходять у складі маршрутних та збірних составів (разом з вагонами, які не потребують відновлення сипкості вантажів);

- у пристрій розморожування вагони подаються партіями, переважно у кількості, яка відповідає місткості відповідної камери розігрівання;

- після розігрівання вагони подаються до пункту вивантаження, якщо він вільний.

Розглянемо типову базову структуру імітаційної моделі доставки вантажів зі станції примикання до пунктів вивантаження (рисунок 5.1).

Модель складена з наступних стандартних елементів: 1 – генератор замовлень; 2 – черга обслуговування; 3 – пристрій обслуговування; 4 – пристрій розподілу; 5 – блокатор замовлень; 6 – знищувач замовлень.

Замовлення-вагони надходять групами (составами) до черги – колії приймання вагонів вхідної промислової станції місткістю $Q_{вх}$.

Імітація розформування составів здійснюється за допомогою елемента затримки замовлень на певний проміжок часу $t_{пер}$.

Після цієї операції вагони сортуються по двох чергах:

- черга місткістю $Q_{пр}$ для накопичення вагонів на станційних коліях підприємства з вантажами, які не потребують розігрівання;

- черга місткістю $Q_{тех}$ для накопичення вагонів з вантажами, які потребують розігрівання.

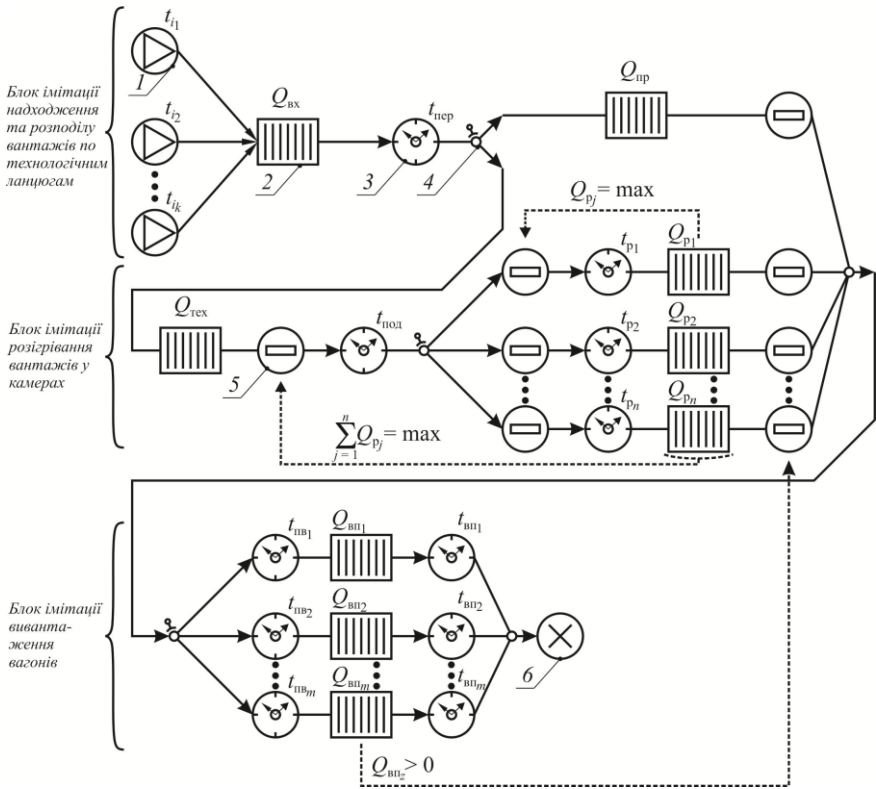


Рисунок 5.1 – Базова типова імітаційна модель доставки вантажів зі станції примикання до пунктів вивантаження

З останньої, з урахуванням часу виконання маневрових робіт $t_{под}$ із постановлення вагонів до камер місткістю Q_{pj} , вагони потрапляють до вільних елементів, які імітують їх розігрів шляхом затримки на час t_{pi} . Подання наступних партій заявок блокується до моменту звільнення камер розморожування, тобто у разі виконання умови:

$$Q_{pj} = \max, \quad j = 1 \dots n, \quad (5.1)$$

де Q_{pj} – місткість j -ї камери розігрівання у вагонах;

n – загальна кількість камер.

Після відновлення сипкості вантажу, вагони потрапляють до відповідних елементів затримки черг пунктів вивантаження. При цьому елементами блокування не допускається подавання чергових партій замовлень-вагонів у камери розігріву до тих пір, поки не звільниться відповідний елемент затримки та не з'явиться місце у черзі, яку він обслуговує.

Вихід з черг камер пристрою розморожування також блокується у разі відсутності вільних місць у чергах вантажних пунктів (тобто при наявності попередньо поданих вагонів на фронті вивантаження).

Дана умова потрібна для недопущення повторного змерзання розігрітого вантажу внаслідок очікування вивантаження поза камерами.

Знаходження в пристрої розігрівання продовжується при виконанні умови:

$$Q_{\text{вп}_z} > 0, \quad z = 1 \dots m, \quad (5.2)$$

де $Q_{\text{вп}_z}$ – кількість вагонів, які знаходяться на z -му вантажному фронті;

m – кількість вантажних фронтів.

Більший рівень адекватності може бути досягнуто у разі використання замість виразу (5.2) наступної умови подавання вагонів до вантажного пункту:

$$t_{\text{зр}_j} + t_{\text{пв}_z} \geq t_{\text{зв}_z}, \quad (5.3)$$

де $t_{\text{зр}_j}$ – момент часу закінчення розігрівання вантажу у j -й камері;

$t_{\text{пв}_z}$ – час подавання вагонів з камер розігріву до відповідного z -го вантажного фронту;

$t_{\text{зв}_z}$ – момент часу закінчення вивантаження вагонів на z -му вантажному фронті.

Паралельно здійснюється передавання замовлень з черги, в якій накопичуються вантажі, що не потребують розморожування.

Завершує структуру програми елемент знищення замовлень.

Дана модель може бути реалізована у середовищі сучасних програмних засобів імітаційного моделювання. Адекватність даної моделі реальному процесу може бути підвищена шляхом використання ресурсів, адже час переміщення вагонів залежить від кількості локомотивів.

Розглянемо фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні одного локомотива (рисунок 5.2).

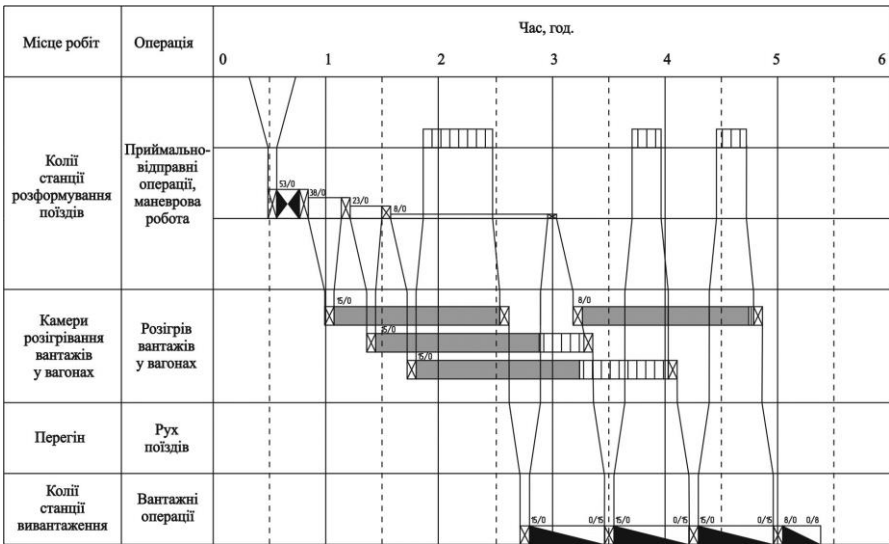


Рисунок 5.2 – Фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні одного локомотива

Робота маневрового локомотива починається після прибуття та обробки маршрутного поїзду на приймальних коліях. У даному прикладі використовуються три камери розігрівання вантажів, в які послідовно подаються партії по 15 вагонів. Після розігрівання вони подаються на фронт вивантаження. При заданій тривалості транспортних, вантажних та інших технологічних операцій один

локомотив може забезпечити безпервну роботу пункту вивантаження.

Але при цьому, як можна бачити на графіку (рисунок 5.2), у першій камері наявний інтервал між прибиранням та подаванням вагонів, у другій та третій камерах також значні інтервали між готовністю та прибиранням вагонів.

При ситуації, коли вагонопотік до камер розігріву значний, потрібне більш раціональне використання пристрою розморожування, що забезпечується щільним графіком роботи, де мінімізується непродуктивний простій камер.

Розглянемо фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні двох локомотивів (рисунок 5.3).

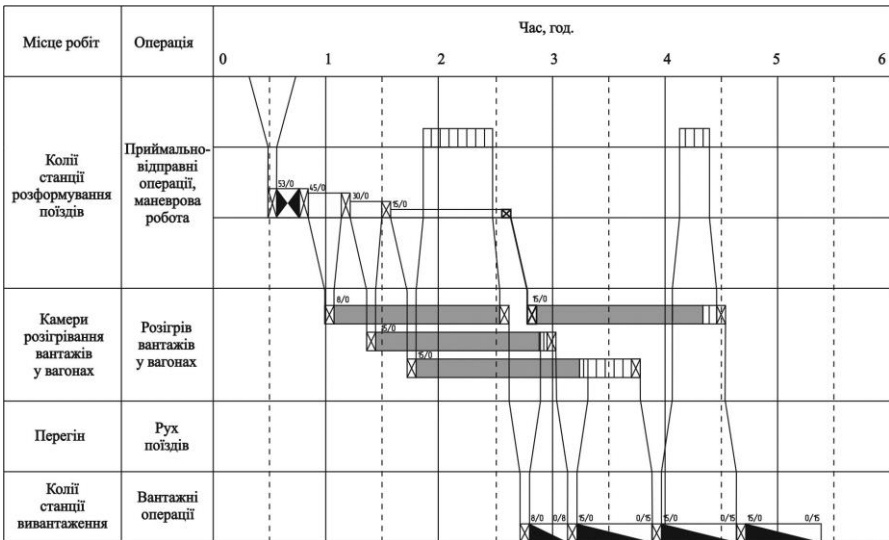


Рисунок 5.3 – Фрагмент графіку роботи камер розігріву вантажів при використанні двох локомотивів

З аналізу процесу розігрівання вантажів, бачимо, що час простою у кожній камері скорочено на 10 хвилин або на 67%. При низьких температурах навколишнього середовища, у разі інтенсивного використання пристрою розігріву, це дуже важлива економія. Але для реалізації потрібен додатковий локомотив (його

роботу на графіку рис. 5.3 показано стовщеною лінією). На практиці, на металургійних підприємствах, в холодний період року для обслуговування пристрою розморожування додатково використовують один або два локомотиви. Не зважаючи на підвищення витрат на їх експлуатацію, цей крок необхідний з позицій максимально ефективного використання камер розморожування, мінімізуючи непродуктивний простій.

Для визначення оптимальної кількості локомотивів, базова типова структура імітаційної моделі розморожування вантажів (рисунок 5.1) може бути представлена у наступному вигляді (рисунок 5.4). Структура доповнена ресурсом – певною кількістю локомотивів, які захоплюються замовленнями (партіями вагонів) при передачі між елементами обслуговування та чергами.

Після прогонки моделі при різній кількості локомотивів для певних температурних умов та обсягів надходження вантажів можна визначити тривалість простою вагонів, продуктивність пристрою розморожування та максимальну довжину черги (кількості вагонів на під'їзній колії).

Більший рівень адекватності моделі може бути досягнуто врахуванням обмежень, які задаються схемою колійного розвитку станції, яка обслуговує пристрій розморожування, наприклад, шляхом побудови схеми транспортної мережі. Така модель буде більш складною, потребує значних витрат часу на налагодження та може бути використана лише для певного підприємства, на відміну від структур моделей, наведених на рисунках 5.1 та 5.4, які є типовими.

Оптимізація транспортно-технологічних процесів може бути виконана за критерієм мінімізації загальних витрат шляхом збалансованого використання транспортних, технологічних та вантажних ресурсів (вагонів, локомотивів, засобів відновлення сипкості та вантажних засобів).

Цей баланс може бути встановлений шляхом прогону моделей при різних параметрах роботи шляхом оцінки вихідних показників: простою вагонів, часу використання локомотивів, камер розморожування та вантажних фронтів.

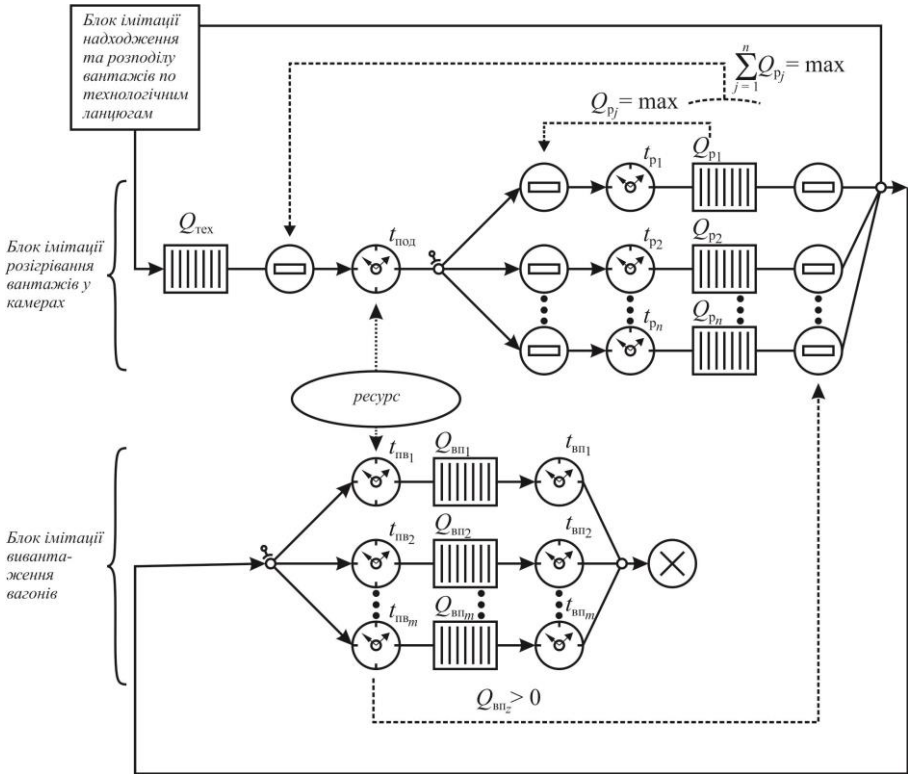


Рисунок 5.4 – Базова типова імітаційна модель доставки вантажів зі станції примикання до пунктів вивантаження з ресурсами

Практичні рекомендації можуть бути використані як при оперативному управлінні перевезеннями, так і при довгостроковому плануванні розвитку транспортної системи (будівництво нових вантажних пунктів, камер розморожування та ін.).

На металургійних підприємствах вивантаження розігрітих вантажів здійснюється на декількох крупних пунктах. Основний вагопотік спрямований до вантажних фронтів доменного цеху, бо цехів, які здійснюють його обслуговування (підрозділ підготовки виробництва, агломераційний цех).

Аналіз розподілу розігрітих вантажів по пунктах вивантаження металургійного підприємства наведено на рисунку 5.5.

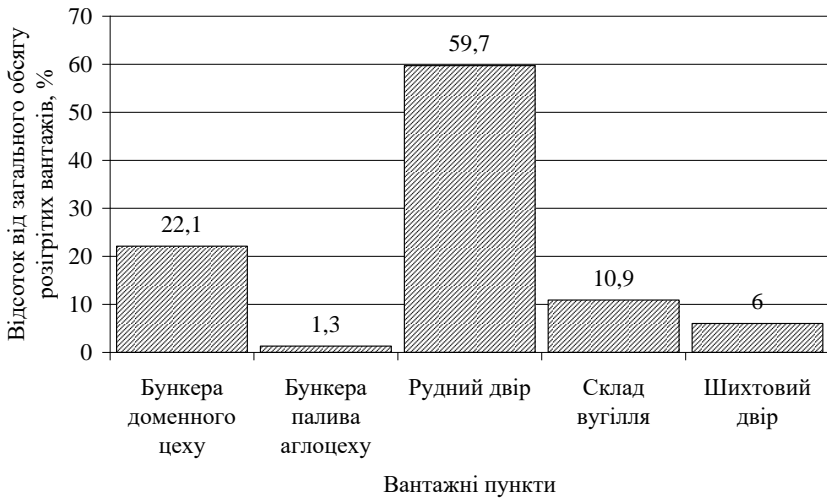


Рисунок 5.5 – Розподіл розігрітих вантажів по пунктах вивантаження

Статистичний аналіз надходження составів з сировиною на комбінат «Запоріжсталь», яка змерзається в холодний період року, наведено в таблицях 5.1 – 5.4 та на рисунках 5.6 – 5.7.

Таблиця 5.1 – Статистичний розподіл надходжень маршрутів, завантажених залізорудним концентратом

Інтервал випадкової величини, год.	Середина інтервалу x_i , год.	Кількість значень m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(x)$
0 – 5	2,5	53	0,194	0,194
5 – 10	7,5	93	0,341	0,535
10 – 15	12,5	63	0,231	0,766
15 – 20	17,5	40	0,147	0,912
20 – 25	22,5	18	0,066	0,978
25 – 30	27,5	3	0,011	0,989
30 – 35	32,5	2	0,007	0,996
35 – 40	37,5	1	0,004	1

Згідно з рис. 5.6 статистичні спостереження надходження маршрутів, завантажених залізорудним концентратом, підпорядковуються гамма-розподілу.

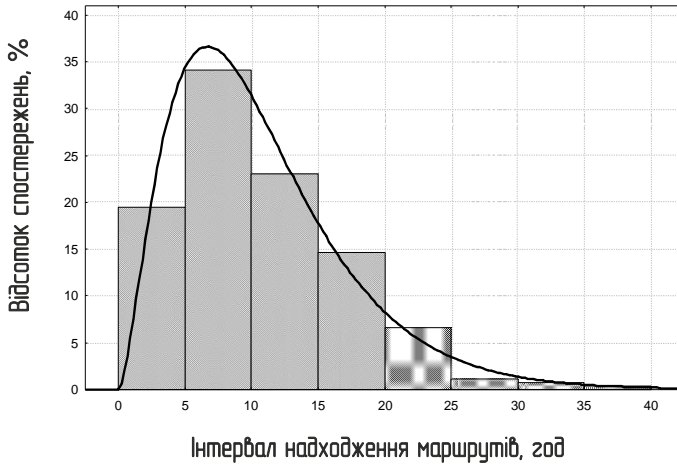


Рисунок 5.6 – Аналіз відповідності статистичного розподілу надходження маршрутів, завантажених залізородним концентратом, гамма-розподілу

Також підтверджується підпорядкованість гамма-розподілу надходження маршрутів, завантажених рудою (див. таблицю 5.2, рис. 5.7).

Таблиця 5.2 – Статистичний розподіл надходжень маршрутів руди

Інтервал випадкової величини, год.	Середина інтервалу x_i , год.	Кількість значень m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(x)$
1	2	3	4	5
1 – 6	3,5	13	0,076	0,076
6 – 11	8,5	27	0,157	0,233
11 – 16	13,5	50	0,291	0,523
16 – 21	18,5	36	0,209	0,733

Продовження табл. 5.2

1	2	3	4	5
21 – 26	23,5	25	0,145	0,878
26 – 31	28,5	12	0,07	0,948
31 – 36	33,5	6	0,035	0,983
36 – 41	38,5	3	0,017	1

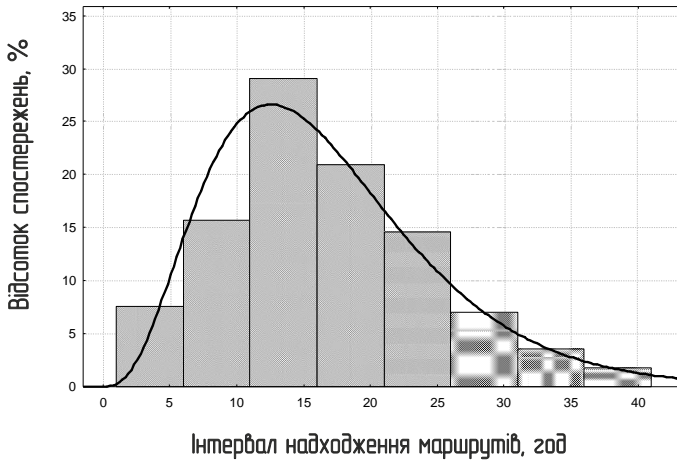


Рисунок 5.7 – Аналіз відповідності статистичного розподілу надходження маршрутів, завантажених рудою, гамма-розподілу

Надходження маршрутів, завантажених вапняком підпорядковується гамма-розподілу (див. таблицю 5.3, рис. 5.8).

Таблиця 5.3 – Статистичний розподіл надходжень маршрутів, завантажених вапняком

Інтервал випадкової величини, год.	Середина інтервалу x_i , год.	Кількість значень m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(x)$
2 – 16	9	12	0,164	0,164
16 – 30	23	23	0,315	0,479
30 – 44	37	18	0,247	0,726
44 – 58	51	8	0,11	0,836
58 – 72	65	8	0,11	0,945
72 – 86	79	3	0,041	0,986
86 – 100	93	1	0,014	1

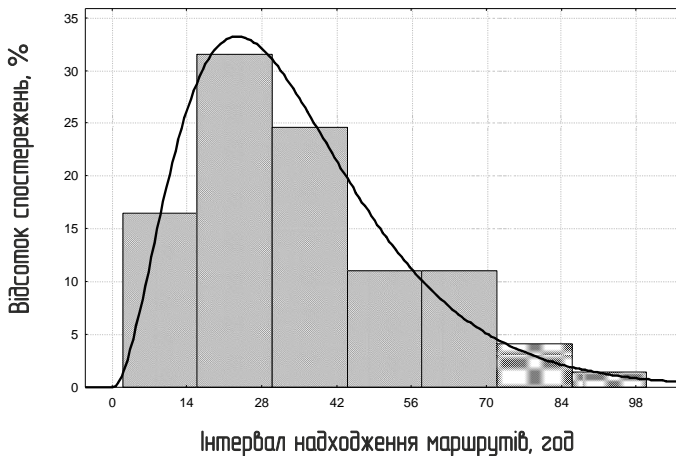


Рисунок 5.8 – Аналіз відповідності статистичного розподілу надходження маршрутів, завантажених вапняком, гамма-розподілу

Згідно з рис. 5.9 (табл. 5.4) статистичні спостереження надходження партій вагонів з вугіллям підпорядковуються експоненціальному розподілу. Це також підтверджують критерії перевірки правильності гіпотези.

Таблиця 5.4 – Статистичний розподіл надходжень партій вагонів з вугіллям

Інтервал випадкової величини, год.	Середина інтервалу x_i год.	Кількість значень m_i	Частість $f_i = \frac{m_i}{\sum m_i}$	Накопичена частість $F(x)$
0 – 7,5	3,75	35	0,294	0,294
7,5 – 15	11,25	25	0,21	0,504
15 – 22,5	18,75	25	0,21	0,714
22,5 – 30	26,25	12	0,101	0,815
30 – 37,5	33,75	9	0,076	0,891
37,5 – 45	41,25	5	0,042	0,933
45 – 52,5	48,75	3	0,025	0,958
52,5 – 60	56,25	5	0,042	1

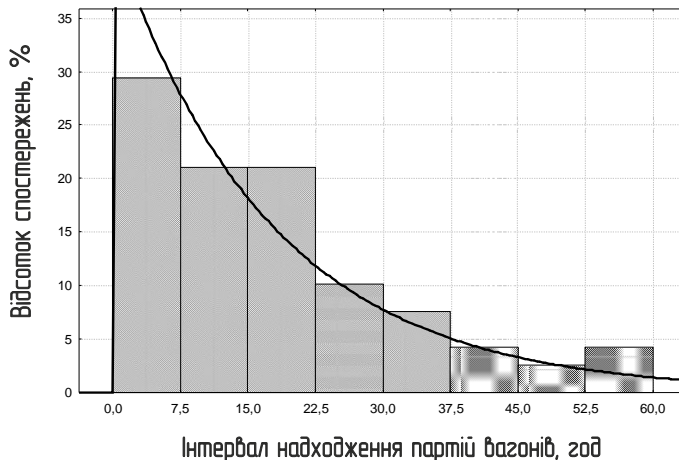


Рисунок 5.9 – Аналіз відповідності статистичного розподілу надходження партій вагонів з вугіллям експоненціальному розподілу

Для перевірки гіпотез про відповідність законів розподілу випадкових величин статистичному розподілу скористаємось розрахунками критеріїв згоди та зведемо їх до таблиці 5.5. Розрахунок критерію Пірсона підтверджує відповідність розподілів випадкової величини обраним теоретичним законам. Критерій Колмогорова-Смирнова виявився незначущим для всіх вибірок.

Таблиця 5.5 – Результат перевірки відповідності статистичних даних теоретичним законам розподілу випадкових величин

Вантаж	Закон розподілу	Перевірка за критерієм Пірсона для рівня значимості $\alpha = 0,05$ ($\chi^2 \leq \chi^2_{\text{табл}}$)
1	2	3
Залізорудний концентрат	гамма	$2,4 < 11,07$ (умова виконується)
Руда	гамма	$1,9 < 11,07$ (умова виконується)
Вапняк	гамма	$3,9 < 9,49$ (умова виконується)

Продовження табл. 5.5

1	2	3
Вугілля	експоненціальний	$5,7 < 12,59$ (умова виконується)

Основну частину вантажів, які подавались до камер рудорозморожування при використанні природного газу, займали залізорудний концентрат та залізна руда (рис. 5.10) – майже дві третини. Інші вантажі – це вапняк, кокс, вугілля, концентрат вугільний, вапно та т.п. разом займали обсяг 35,3%.

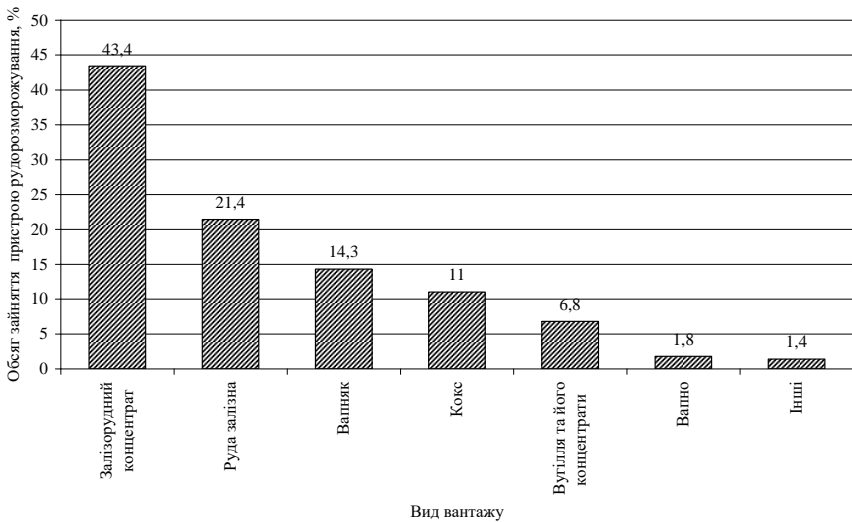


Рисунок 5.10 – Порівняльний аналіз обсягів розморожування вантажів на ПАТ «Запоріжсталь» при використанні природного газу в доменному цеху

В дійсний час вугілля та його концентрати змістилися в цьому «рейтингу» з п'ятої позиції на другу, збільшившись майже в три рази з 6,8% до 19,6% (рисунок 5.11).

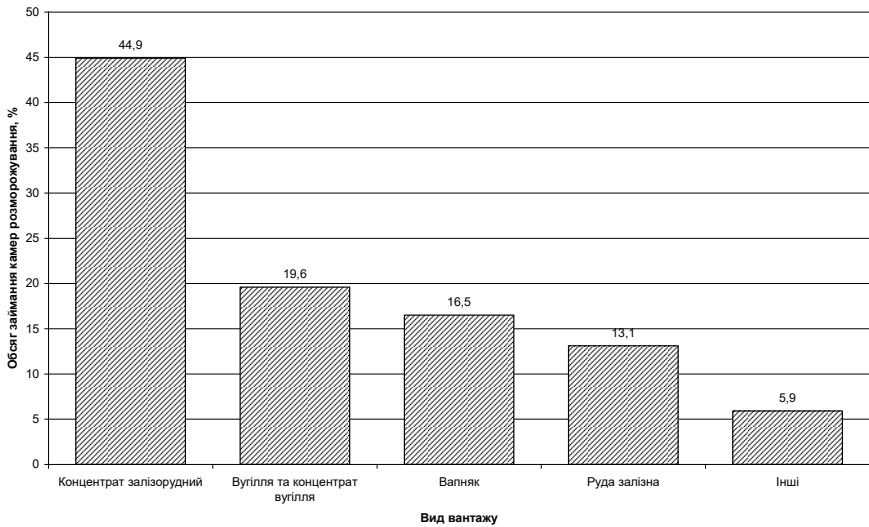


Рисунок 5.11 – Порівняльний аналіз обсягів розморожування вантажів на ПАТ «Запоріжсталь» при пиловугільному дудванні

Регресійний аналіз процесу розморожування вантажів.

Визначимо залежності величини простоїв вагонів в камерах розморожування за видами вантажу у від температури навколишнього середовища на момент надходження на станцію примикання x . В нашому випадку тривалість знаходження вагонів на шляху прямування не враховуємо, оскільки відстані перевезень однорідних вантажів суттєво не відрізняються. При необхідності, вплив цього фактору можна визначити аналогічним чином.

Графічну форму систематизації статистичного матеріалу у вигляді поля кореляції наведено на рисунках 5.12 – 5.15.

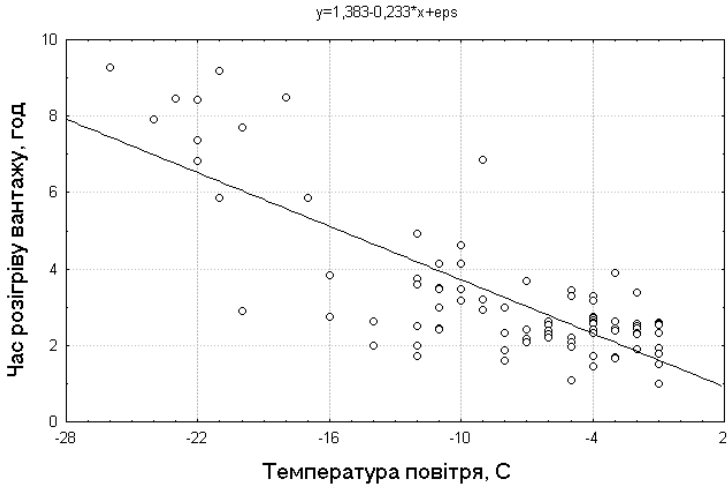


Рисунок 5.12 – Поле кореляції і емпірична лінія регресії даних розігріву залізрудного концентрату

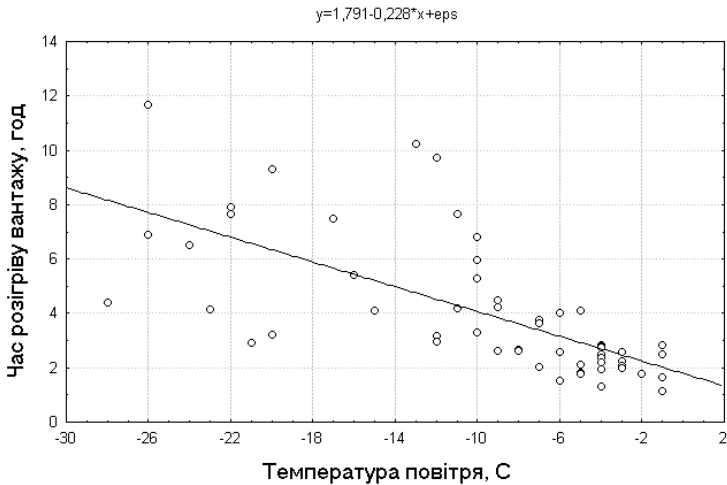


Рисунок 5.13 – Поле кореляції і емпірична лінія регресії даних розігріву руди

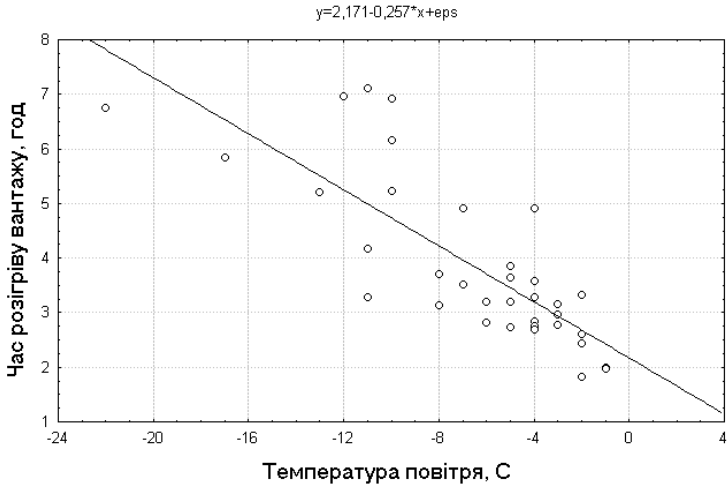


Рисунок 5.14 – Поле кореляції і емпірична лінія регресії даних розігріву вапняку

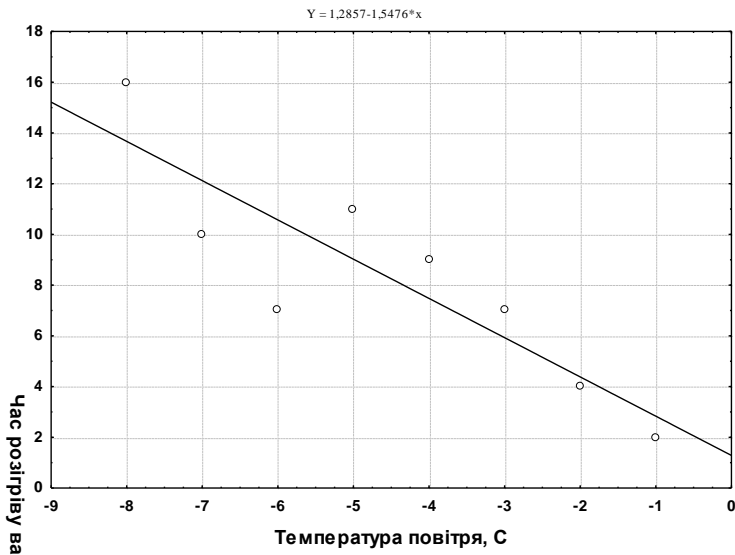


Рисунок 5.15 – Поле кореляції і емпірична лінія регресії даних розігріву вугілля

За допомогою програм статистичного аналізу отримано наступні регресійні залежності:

- для залізородного концентрату $y = 1,383 - 0,233x$;
- для руди $y = 1,791 - 0,228x$;
- для вапняку $y = 2,171 - 0,257x$;
- для вугілля $y = 1,2857 - 1,5476x$.

Дані залежності використаємо в імітаційній моделі роботи транспортної системи в холодний період. Структурно модель представлена на рисунку 5.16, де наведені окремі модулі та вказані основні параметри, які в них задаються.

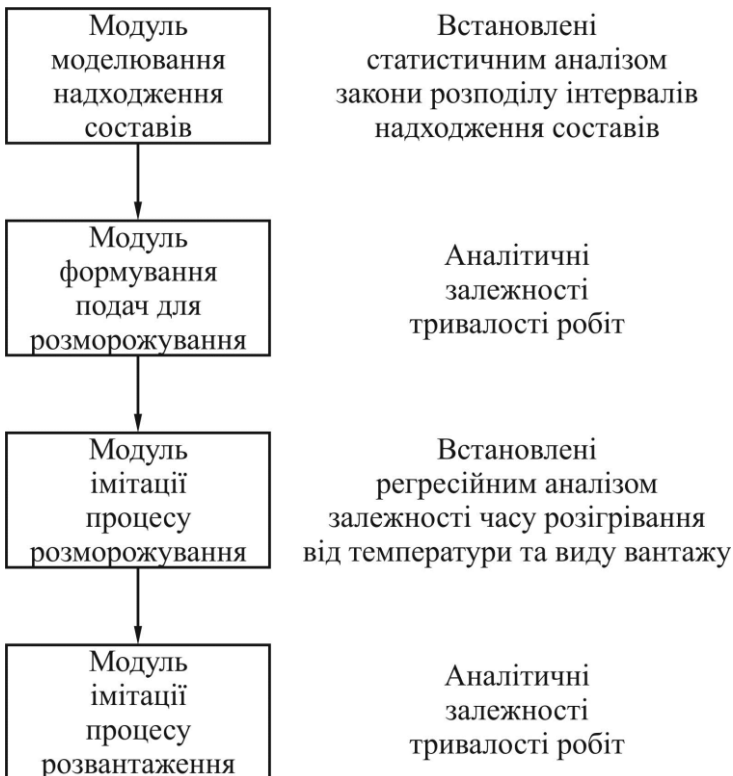


Рисунок 5.16 – Модель роботи МЛС розморожування вантажів

За допомогою моделі була встановлена суттєва нестача ресурсів – камер розморожування для забезпечення технологічного процесу вантажопереробки.

В окремих випадках затримка вагонів може бути пов'язана з процесами вивантаження розігрітих вантажів (наприклад, при температурі -10°C ... -30°C три камери місткістю 15 вагонів можуть за 1–2 години відновити сипкість 45 вагонів з рудою, а тривалість їх вивантаження на вагоноперекидачі складе близько 2,5...3 години).

В цьому випадку в моделі необхідно передбачити канал зворотного зв'язку модулів розігрівання та вивантаження з модулем формування вагонів для постановки до камер розігрівання, який враховує продуктивність та зайнятість вантажних фронтів.

Крім того, можливий варіант використання ресурсів інших підприємств (в даному випадку комбінат «Запоріжсталь» використовував камери розігрівання підприємства «Запоріжжкокс»).

Результати роботи моделі за даними температурних показників наведені в таблицях 5.6 та 5.7 (для діб, де зафіксована мінусова температура).

Порівнюємо два варіанти: при використанні трьох камер розігрівання та камер розігрівання іншого підприємства можлива затримка вагонів до 3 діб, у випадку будівництва додаткової власної камери розігрівання, вагони, зазвичай, затримуються не більш ніж на добу.

Економічні розрахунки дозволяють визначити найбільш ефективний варіант організації робіт.

Таблиця 5.6 – Результати моделювання процесів розморожування вантажів при роботі трьох камер, год.

Місяць	Середня температура	Вагони, які встигають розвантажитися	Вагони, які не встигають розвантажитися	Вагони, які простояють в очікуванні розігріву та вивантаження			Вагони, які передають на «Запоріжжюкс»
				1 доба	2 доби	3 доби	
Грудень	-1	422					
	-1	422					
	-0,5	422					
	-1	422					
	-4	422					
	-7,5	390	32				32
	-10,5	283	139	139			
	-10,5	283	139	278			
	-9	390	32	278			32
	-9,5	390	32	278			32
	-9,5	390	32	278			32
	-9	390	32	278			32
-10	283	139	417				

Продовження таблиці 5.6

Місяць	Середня температура	Вагони, які встигають розвантажитися	Вагони, які не встигають розвантажитися	Вагони, які простояють в очікуванні розігріву та вивантаження			Вагони, які передають на ПТ «Запоріжжя»
				1 доба	2 доби	3 доби	
Січень	-13	283	139	422	134		
	-12,5	283	139	422	273		
	-5,5	390	32	422	273		32
	-2	422		194			
	-2,5	422					
	-0,5	422					
	-2	422					
	-1	422					
	-3,5	422					
	-7	390	32				32
	-5	422					
	-4,5	422					
	-8,5	390	32				32
	-12	283	139	139			
	-12,5	283	139	278			
	-9	390	32	278			32
	-7,5	390	32	278			32
	-9	390	32	278			32
	-14,5	283	139	417			
	-18	200	222	422	217		
-15	283	139	422	422	17		

Продовження таблиці 5.6

Місяць	Середня температура	Вагони, які встигають розвантажитися	Вагони, які не встигають розвантажитися	Вагони, які простояють в очікуванні розігріву та вивантаження			Вагони, які передають на ПТ «Запоріжжюкс»
				1 доба	2 доби	3 доби	
Лютий	-13	283	139	422	422	156	
	-8,5	390	32	422	422	156	32
	-7,5	390	32	422	422	156	32
	-6,5	390	32	422	422	94	32
	-3,5	422		422	422	94	
	-5,5	390	32	422	422	94	32
	-5	422		422	15		
	-0,5	422					
	-2	422					
Всього				5466	3186	767	480

Таблиця 5.7 – Результати моделювання процесів розморожування вантажів при роботі чотирьох камер, год.

Місяць	Середня температура	Вагони, які встигають розвантажитися	Вагони, які не встигають розвантажитися	Вагони, які простоюють в очікуванні розігріву та вивантаження	
				1 доба	2 доби
Грудень	-1	422			
	-1	422			
	-0,5	422			
	-1	422			
	-4	422			
	-7,5	422			
	-10,5	358	64	34	
	-10,5	358	64	128	
	-9	422		73	
	-9,5	422		18	
	-9,5	422			
	-9	422			
-10	358	64	64		
Січень	-13	358	64	128	
	-12,5	358	64	192	
	-5,5	422		137	
	-2	422			
	-2,5	422			
	-0,5	422			
	-2	422			

Продовження таблиці 5.7

Місяць	Середня температура	Вагони, які встигають розвантажитися	Вагони, які не встигають розвантажитися	Вагони, які простоюють в очікуванні розігріву та вивантаження	
				1 доба	2 доби
Січень	-1	422			
	-3,5	422			
	-7	422			
	-5	422			
	-4,5	422			
	-8,5	422			
	-12	358	64	64	
	-12,5	358	64	128	
	-9	422		73	
Лютий	-7,5	422		18	
	-9	422			
	-14,5	358	64	64	
	-18	258	164	228	
	-15	358	64	392	
	-13	358	64	422	34
	-8,5	422		401	
	-7,5	422		346	
	-6,5	422		193	
Всього				3320	34

ТЕМА 6. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖНОЇ РОБОТИ ТА РАЦІОНАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ЛЮДСЬКИХ РЕСУРСІВ

Розглянемо модель, за допомогою якої здійснюється раціональний розподіл вантажників на вантажних фронтах підприємства.

В моделі створена мережа залізничних колій, по яких рухаються заявки на обслуговування – партії вагонів, які розвантажуються або очищаються вантажниками після вивантаження механізованим способом. Кількість вантажників-ресурсів можна змінювати лише по окремих фронтах, де зробити це дозволяє технологічний процес.

Так, на прикладі реального об'єкту - комбінату «Запоріжсталь», це можливо на пунктах «Вугільна» (на момент проведення досліджень – «Новий склад»), «Шихта» та «Шихтовий двір». Перевага використання імітаційної моделі у цьому випадку дозволяє врахувати значну кількість випадкових факторів.

Програмні засоби імітаційного моделювання дають можливість не тільки переглядати, але і змінювати значення параметрів і змінних, в інтерактивному режимі впливати на поведінку моделі. Виконані зміни вступають в силу миттєво відразу після їх задавання.

На рисунку 6.1 наведено загальний вигляд анімаційного поля програми, яка моделює процес очищення вагонів в умовах комбінату «Запоріжсталь».

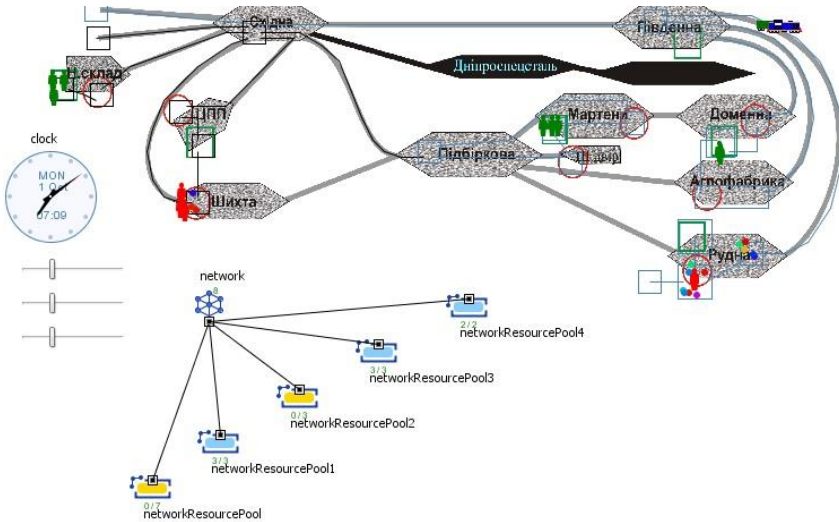


Рисунок 6.1 – Анімаційне поле програми моделювання процесу розвантаження

В лівій частині рисунку знаходиться годинник для візуального контролю за процесом моделювання за часом та бігунки, за допомогою яких встановлюється кількість вантажників на шихтовому дворі, складі вугілля та на станції Шихта. На інших вантажних фронтах кількість вантажників прийнято фіксованою за вимогами технології, та може бути змінена перед початком роботи шляхом коригування відповідних змінних.

В верхній частині наведено схему розміщення станцій та вантажних пунктів комбінату «Запоріжсталь», де здійснюється ручне вивантаження або очищення вагонів. При роботі програми фігурою людини зеленого кольору відображаються вільні людські ресурси, червоного кольору – зайняті. Також відображається рух локомотивів по перегонах.

В нижній частині відображаються ресурси вантажних пунктів: зайняті підсвічуються жовтим кольором, вільні – голубим.

На рисунку 6.2 наведено загальний вигляд виконавчої частини програми, складеною зі стандартних елементів, пов'язаних між собою.

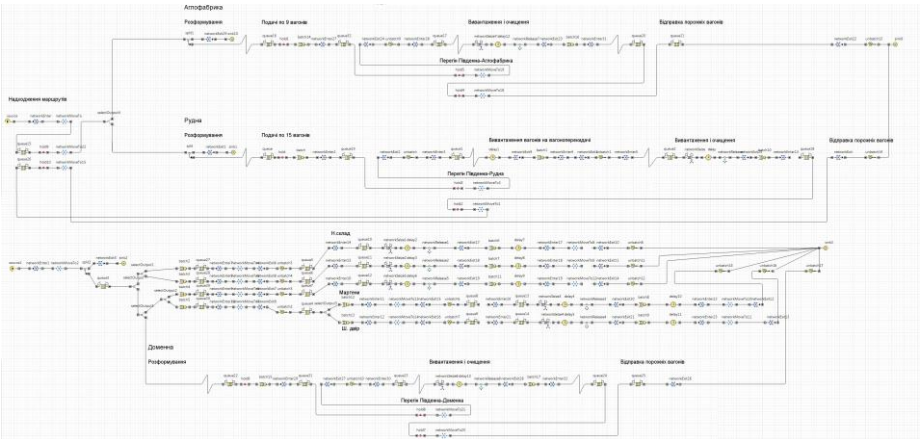


Рисунок 6.2 – Загальний вигляд виконавчої частини програми

В процесі роботи кожен елемент може обпитуватись та, відповідно, можуть контролюватись значення його параметрів. Швидкість моделювання може змінюватись оператором.

Отримані показники роботи моделі дозволяють оптимізувати розподіл трудових і матеріальних ресурсів транспортно-виробничої системи базового промислового підприємства (таблиця 1 додатку А).

Графічна інтерпретація результатів моделювання представлена на рисунку 6.3, де точка А на поверхні відповідає мінімальному простору вагонів в системі від моменту прибуття до їх вивантаження.

Використання імітаційного моделювання можливе в інших задачах раціонального розподілу ресурсів, наприклад, локомотивів по маневрових районах, або пересувних ресурсів – навантажувачів, кранів по вантажних фронтах.

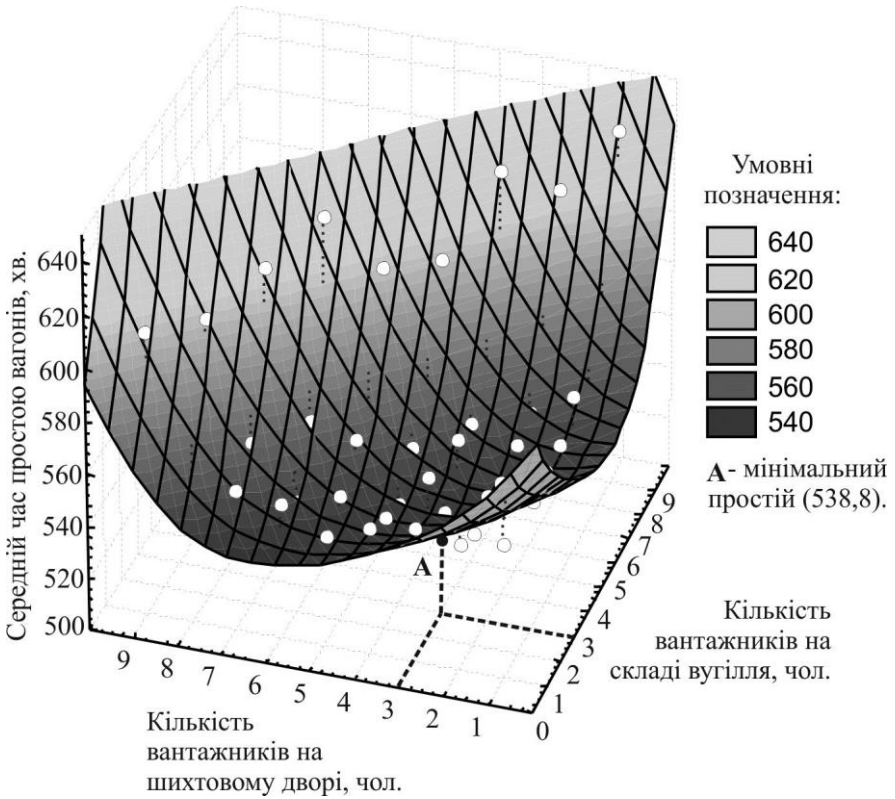


Рисунок 6.3 – Поверхня значень тривалості знаходження вагонів в досліджуваній транспортній системі

ТЕМА 7. МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВАНТАЖОПОТОКІВ

7.1 Дослідження динаміки вантажопотоку

Робота транспортної системи основана на переміщенні вантажів та включає у загальному вигляді наступні логістичні ланки: формування замовлень на перевезення, транспортування, приймання, зберігання, обробка замовлень, відвантаження й ін.

Елементом, який утворює систему з цих ланок, є матеріальний потік. Формою існування матеріального потоку є вантажообіг і вантажопотік. Вантажообіг складається з окремих вантажопотоків, що представляють собою кількість вантажів, що транспортують у даному напрямку або через даний пункт за одиницю часу. У випадку, коли вантажопотік віднесений не до тимчасового інтервалу, а до певного моменту часу, він переходить у запас (вантажний потік, розглянутий у заданий момент часу, є запасом у шляху прямування). Вантажопотік на мікрологістичному рівні складається з декількох складових. Він може включати потоки на ділянках зберігання, пакування, навантаження й т.п.

Формування вантажопотоку відбувається під впливом безлічі просторових, технічних, технологічних й організаційних факторів, які випадковим образом впливають на його величину. Це обумовлює випадковий характер інтенсивності його миттєвих значень.

Періоди збільшення обсягів перевезень вантажів чергуються з періодами зменшення. Тривалість цих періодів може носити випадковий характер. Вантажопотік здатний реагувати на зовнішні впливи зміною свого внутрішнього стану. Такими впливами можуть бути:

- склад логістичних операцій;
 - організаційно-технологічна форма перевізного процесу;
 - режими роботи підприємства й транспорту;
 - форма взаємодії між учасниками перевізного процесу;
 - дії осіб, що приймають управлінські рішення та ін.
- Реакція вантажопотоку проявляється в наступному:
- поводженням за часом;

- просторовій зміні характеристик.

Основними джерелами впливу на вантажопотік є пункти навантаження й пункти вивантаження.

При описі й вивченні вантажопотоків у динаміці, у якості універсальної координати для розподілу випадкової величини вантажопотоку по незалежній змінній використовуємо аргумент t із трактуванням його як тимчасової координати. Тоді величина вантажопотоку q_t , що змінюється в часі $t \in T$, являє собою випадковий або стохастичний процес. При кожному конкретному значенні t величина q_t може залежно від випадку приймати одне зі своїх можливих значень.

Випадковий процес є деякою функцією часу, що дозволяє розглядати його як випадкову функцію часу $Q(t)$. При фіксованому t значення стохастичного процесу розглядається як випадкова величина. Ці два підходи дають підстави розглядати випадковий процес як функцію двох однорідних величин – випадку ω і моменту часу t , тобто $Q(\omega, t)$. При фіксованому випадку ω утвориться деяка послідовність значень $q_{t_1}, q_{t_2}, \dots, q_{t_i}$. Якщо T – дискретна безліч, то послідовність q_{t_i} являє собою динамічний ряд. Це означає, що спостережуваний динамічний ряд є реалізацією випадкового процесу, або динамічний ряд породжується випадковим процесом.

Звідси виходить, що поняття випадкового процесу й динамічного ряду еквівалентні. Таким чином, динамічний ряд вантажопотоку можна розглядати як безліч даних про випадковий процес, який розташовує спостерігач і на підставі яких він повинен робити вивід про властивості спостережуваного випадкового процесу. Відповідно до цього, елементи динамічного ряду розглядаються, з одного боку, як задані фіксовані числа при одержанні оцінок параметрів випадкового процесу, а, з іншого боку, при аналізі властивостей цих оцінок елементи ряду вивчаються як випадкові величини з відповідними імовірнісними характеристиками.

Випадковий процес $Q(t)$ не є певною кривою, він утворюється безліччю окремих кривих $q_i(t)$, де $i = 1, 2, \dots, n$, одержаних у результаті окремих дослідів або спостережень (рисунок 6.1) [183]. Кожна крива цієї безлічі (ансамблю) являє собою окрему реалізацію випадкового процесу.

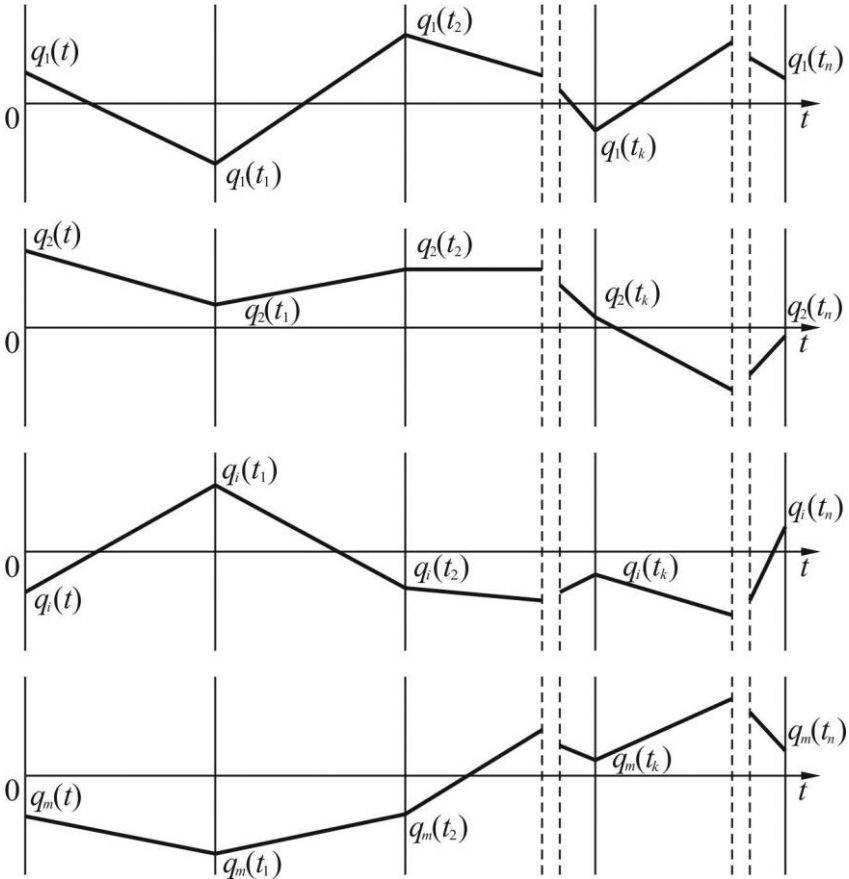


Рисунок 7.1 – Реалізації випадкового процесу

Сказати заздалегідь, по якій реалізації піде процес, неможливо. Для будь-якого фіксованого моменту часу, наприклад $t = t_1$, реалізація випадкового процесу $q_i(t)$ являє собою конкретну величину, значення якої $q_i(t)$ є випадковою величиною - перетином випадкового процесу в момент часу t_1 . Тому не можна затверджувати заздалегідь, що випадковий процес у цей момент часу має цілком певне детерміноване значення, можна говорити лише про ймовірності того, що в цей момент часу значення випадкового процесу як випадкової величини буде перебувати в певних межах.

При аналізі динамічних властивостей вантажопотоків вивчають не кожну з реалізацій $q_i(t)$, що утворюють безліч $Q(t)$, а властивості всього ансамблю в цілому, шляхом усереднення властивостей вхідних у нього реалізацій. Тому при дослідженні вантажопотоків судять про його поведінку не стосовно якогось певного впливу, що представляє задану функцію часу, а стосовно цілої сукупності впливів.

Для динаміки вантажопотоків у загальному випадку характерні наступні види випадкових процесів:

- з безперервним часом і дискретним станом (кількість поставок вантажів споживачеві змінюється однократно в будь-який момент часу);

- з дискретним часом і безперервним станом (обсяг вантажообігу змінюється плавно в певний момент часу);

- з дискретним часом і дискретним станом (кількість поставок вантажів змінюється однократно й тільки в певні моменти часу).

З погляду випадкового процесу вантажопотік ставиться до стаціонарного, якщо всі багатомірні закони його залежать тільки від взаємного розташування моментів часу t_1, t_2, \dots, t_n , а не від самих значень величини вантажопотоку. Тобто випадковий вантажопотік буде стаціонарним, якщо його імовірнісні закономірності незмінні в часі. У протилежному випадку він буде нестаціонарним. Це твердження справедливо й у тому випадку, якщо як аргументи розглядати просторові координати $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$. У цьому випадку мова йде про просторову стаціонарність.

7.2 Структурна характеристика динамічного ряду вантажопотоку

Динамічний ряд вантажопотоку або ряд динаміки – сукупність величин вантажопотоку, що змінюються за часом та розташовані у хронологічному порядку.

Кожен ряд динаміки містить дві складові:

- показники періоду часу (роки, квартали, місяці, дні, дати, години тощо);

- величину вантажопотоку, що ставиться до окремого періоду або дати – рівень ряду.

Рівні ряду виражаються як абсолютними так і середніми або відносними величинами. Динамічні ряди з відносних і середніх величин будують на основі похідних рядів абсолютних величин. Рівні ряду можуть ставитися або до певних моментів часу або до окремих періодів.

Дослідження динамічних властивостей вантажопотоку зводиться до побудови й аналізу рядів динаміки.

При цьому необхідно врахувати, що динамічні ряди мають характерні відмінності від просторових вибірок:

- рівні динамічного ряду, як правило, не є статистично незалежними:

- члени динамічного ряду не є однаково розподіленими.

Можливі значення динамічного ряду в момент часу описується за допомогою випадкової величини q_t і пов'язаного з нею розподілу ймовірностей $P(q_t)$, тобто спостережуване значення q_t ряду динаміки в момент часу t розглядається як одне з безлічі значень, які могла б прийняти випадкова величина вантажопотоку q_t у цей момент часу.

При аналізі динамічного ряду вантажопотоку розрізняють різні види динаміки.

Тенденція – відповідає повільній зміні вантажопотоку, що відбувається в деякому напрямку та зберігається протягом незначного проміжку часу. Тенденцію називають також трендом.

Циклічні коливання – це більш швидка, чим тенденція, *квазіперіодична* динаміка, у якій спостерігається фаза зростання й убування. Найбільше часто цикл пов'язаний із флуктуаціями активності вантажоутворення.

Сезонні коливання відповідають змінам, які відбуваються регулярно протягом року, тижня, доби. Вони пов'язані із сезонами й ритмами виробничої діяльності транспортної системи.

Календарні ефекти – це відхилення, пов'язані з певними передбачуваними календарними подіями (святкові дні, кількість робочих днів за місяць і т. ін.)

Випадкові флуктуації – безладні рухи великої частоти. Вони породжуються впливом на величину вантажопотоку різнорідних подій (несистематичний або випадковий ефект). Таку складову зазвичай називають шумом.

Викиди – це аномальні рухи динамічного ряду, пов’язані з подіями, які рідко відбуваються та різко, але лише короткочасно відхиляють ряд від загальної траєкторії його руху.

Структурні зрушення – це аномальні рухи динамічного ряду, пов’язані з подіями, які рідко відбуваються та мають стрибкоподібний характер і змінюють тенденцію.

Для того щоб розкласти конкретний ряд на ці складові, потрібно зробити певні припущення про їх властивості. Необхідно побудувати формальну статистичну модель (яка б містила в собі ці складові), оцінити її, а на підставі отриманих оцінок виділити складові.

По наявності в динамічних рядах цих складових судять про нестационарність або стаціонарність вантажопотоку.

Основною умовою для одержання правильних висновків при аналізі рядів динаміки є порівнянність його елементів.

Ряди динаміки формуються в результаті об’єднання й угруповання матеріалів статистичного спостереження. Повторювані за часом (по звітних періодах) значення однойменних показників у ході статистичного об’єднання систематизуються в хронологічній послідовності. При цьому кожен ряд динаміки охоплює окремо відособлені періоди, у яких можуть відбуватися зміни, що приводять до непорівнянності звітних даних з даними інших періодів.

Тому для аналізу ряду динаміки необхідне приведення всіх складових його елементів до порівнянного виду. Для цього відповідно до завдань дослідження встановлюються причини, що обумовили непорівнянність аналізованої інформації, і застосовується відповідна обробка даних, що дозволяє робити порівняння рівнів ряду динаміки.

Непорівнянність статистичних даних у часі (рівнів рядів динаміки) може бути обумовлена різними причинами:

- різна система охоплення явищ статистичними спостереженнями (наприклад, зміна кількості об’єктів, які розглядаються);

- неоднорідність складу досліджуваної сукупності спостережень за часом;

- зміна в методиці первинного обліку й узагальнення інформації або в методиці розрахунку показників;

- використання в окремі періоди різних одиниць виміру;

- різна тривалість періодів спостережень;

- недосконалість методології систематичного спостереження й

ін.

7.3 Основні аспекти побудови моделей прогнозування вантажопотоків

Найбільш важливим у плануванні перевізного процесу є прогноз поведінки вантажопотоків у майбутні періоди. Основою прогнозування є модель вантажопотоку. Для опису випадкових стаціонарних процесів поведінки вантажопотоків і його стану можна використати клас авторегресійних моделей, які знайшли широке застосування в економічних дослідженнях. Побудова авторегресійних моделей заснована на взаємозалежності рівнів одного й того ж самого ряду. Умова нормальності розподілу ряду при побудові його моделі не є обов'язковою. Широке використання авторегресійних моделей для опису стаціонарних випадкових процесів обумовлено тим, що розвиток стаціонарного динамічного ряду відбувається без вираженої тенденції й незмінних стабільних умов, внаслідок чого імовірнісні властивості рядів не змінюються за часом.

Процедура аналізу й прогнозування стаціонарних динамічних рядів вантажопотоку базується на наступних моделях:

- авторегресії $AR(k)$ ($AR(k)$ в англійській інтерпретації);
- ковзного середнього $CC(m)$ або $MA(m)$;
- змішаних авторегресії й ковзного середнього $ARCC(k,m)$ або

$ARMA(k,m)$.

Побудова моделі вантажопотоку й подальший його аналіз передбачає наступні завдання:

- перевірку динамічного ряду на стаціонарність;
- підбор моделі, що адекватно описує поведінку вантажопотоку;
- прогнозування.

Перші два завдання ставляться до загального завдання моделювання динамічного ряду, третя – використовує результати такого моделювання.

Якщо встановлено, що вихідний ряд є стаціонарним у широкому змісті, то можна відразу приступати до його моделювання. Якщо умова стаціонарності не виконується, то потрібно його остационарювання шляхом переходу від вихідного динамічного ряду Q_t до ряду \tilde{Q}_t ($t = 1, 2, \dots, N - d$) перших ($d = 1$) або других ($d = 2$) різностей:

$$\begin{aligned}
 \tilde{Q}_t(t) &= Q_t, \quad t = 1, 2, \dots, N \quad \text{при } d = 0; \\
 \tilde{Q}_t(t) &= Q_{t+1} - Q_t, \quad t = 1, 2, \dots, N - 1 \quad \text{при } d = 1; \\
 \tilde{Q}_t(t) &= \tilde{Q}_{t+1} - \tilde{Q}_t, \quad t = 1, 2, \dots, N - 2 \quad \text{при } d = 2.
 \end{aligned}
 \tag{7.1}$$

Якщо перші різниці є стаціонарними, то первісний (вихідний) ряд є інтегрованим першого порядку. Він дозволяє усунути лінійну тенденцію $Q_t = bt$. Якщо для формування стаціонарного динамічного ряду потрібно одержати ряд других різностей, то вихідний ряд є інтегрованим рядом другого порядку. Він дозволяє усунути параболічну тенденцію у вигляді ряду другого порядку $Q_t = a + bt + ct^2$. У загальному випадку, якщо первісний стаціонарний ряд виходить після d -кратного взяття різностей, процес називається інтегровальним порядку d . Якщо $d > 4$, вважається, що процес не може бути наведений до стаціонарного виду. Стаціонарний процес має нульовий порядок інтегрованості. Таким чином, АР-моделі різницевих динамічних рядів характеризуються двома параметрами: p (порядок авторегресії) і d (порядок кінцевих різностей).

Найпростішим способом визначення найбільш підходящого різницевого ряду є обчислення для кожного ряду ($d = 0, 1, 2$) його дисперсії, тобто усередненої суми квадратів розбіжностей його рівнів із середнім значенням $\tilde{Q}_{\text{ср}}$. Для подальшої обробки вибирається ряд, у якого величина цього показника мінімальна.

7.4 Побудова моделі вантажопотоку

Аналіз динамічного ряду, підбор моделі й прогнозування поведіння динамічного ряду вантажопотоку включає кілька етапів:

- збір інформації, формування бази даних вантажопотоків;
- визначення вимог до моделі;
- визначення цілей і завдань моделей;
- визначення необхідних типів моделей;
- формування альтернативних моделей;
- оцінка альтернативних моделей;
- вибір найбільш прийнятної моделі для прогнозування вантажопотоків у транспортній системі;

- узгодження взаємодії між обраними моделями й коректування.

На рисунку 7.2 представлена узагальнена система моделювання стаціонарного вантажопотоку.



Рисунок 7.2 – Узагальнена система моделювання вантажопотоку

Дана система передбачає генерацію альтернативних моделей динамічного ряду й вибір з них найбільш прийнятних для практичної реалізації при прогнозуванні. Для генерації альтернативних моделей використовується метод морфологічного аналізу й синтезу динамічного ряду, побудований на базі комп'ютерних технологій. Морфологічний аналіз припускає одержання опису всіх статистичних і сервісних процедур, а морфологічний синтез – формування пошукового завдання й проведення оцінки описів моделі.

У підсумку для прогнозування обираються ті моделі, які щонайкраще відповідають умовам завдання по опису конкретних вантажопотоків. Цілісна прогнозна модель виходить як результат морфологічного синтезу окремих локальних моделей динамічного ряду й взаємозв'язків між ними в транспортній системі.

Систему пошуку моделі вантажопотоку за допомогою програм статистичного аналізу можна представити у вигляді послідовності окремих блоків, кожен з яких виконує певну функцію за допомогою різних процедурно-статистичних операцій (рисунок 7.3).

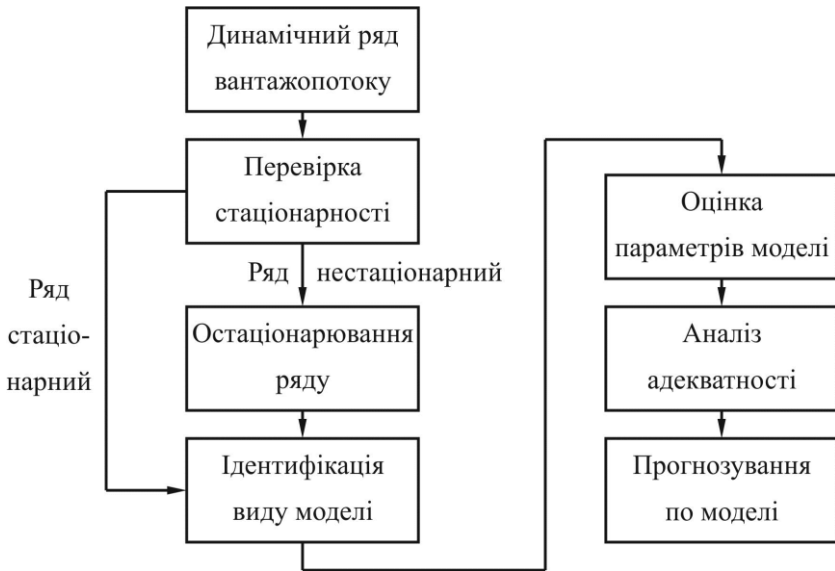


Рисунок 7.3 – Система пошуку моделі вантажопотоку за допомогою програм статистичного аналізу

Виконаємо підбір моделі й побудову прогнозу на даних металургійного комбінату «Запоріжсталь». У таблиці 1 наведені дані за 100 послідовних діб про обсяги надходження сировини зі станції примикання у залізничних вагонах.

Таблиця 7.1 – Обсяг поставок сировини на металургійний комбінат

Доба	Q, ваг.	Доба	Q, ваг.	Доба	Q, ваг.	Доба	Q, ваг.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	356	26	432	51	390	76	558
2	426	27	503	52	291	77	534
3	449	28	423	53	397	78	470
4	462	29	467	54	273	79	475
5	489	30	498	55	558	80	410
6	418	31	450	56	527	81	423
7	250	32	489	57	329	82	411
8	412	33	376	58	441	83	550
9	438	34	465	59	308	84	428
10	376	35	410	60	363	85	492
11	399	36	336	61	394	86	478
12	386	37	333	62	491	87	388
13	460	38	388	63	487	88	450
14	489	39	348	64	585	89	543
15	409	40	389	65	351	90	554
16	404	41	366	66	284	91	478
17	434	42	448	67	390	92	538
18	463	43	514	68	425	93	524

Продовження табл. 7.1

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
19	364	44	375	69	320	94	512
20	308	45	390	70	539	95	515
21	332	46	418	71	505	96	517
22	387	47	277	72	326	97	532
23	448	48	405	73	454	98	393
24	386	49	262	74	548	99	299
25	385	50	283	75	417	100	418

На першому етапі виконуємо перевірку вихідних даних на наявність викидів (аномальних значень) у вихідних даних й їх заміну на вибіркові середньоарифметичні.

Створений файл даних аналізується за допомогою програмних засобів статистичного аналізу (наприклад, пакету «Статистика»).

Розглянемо отриманий графік динамічного ряду вантажопотоку (рисунок 7.4).

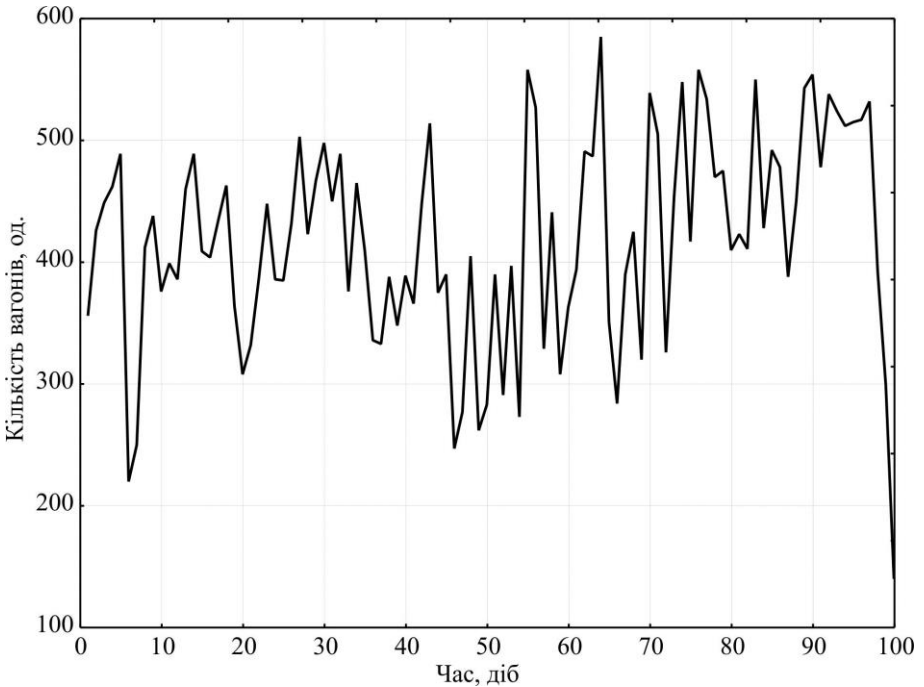


Рисунок 7.4 – Графік динаміки вантажопотоку

Із візуального аналізу графіка можна зробити висновок, що динамічний ряд має слабо виражений тренд, внаслідок чого не представляється можливим однозначно встановити наявність або відсутність стаціонарності.

Для прояснення ситуації розглянемо поведінку вибіркової автокореляційної і часткової автокореляційної функцій (рисунки 7.5, 7.6).

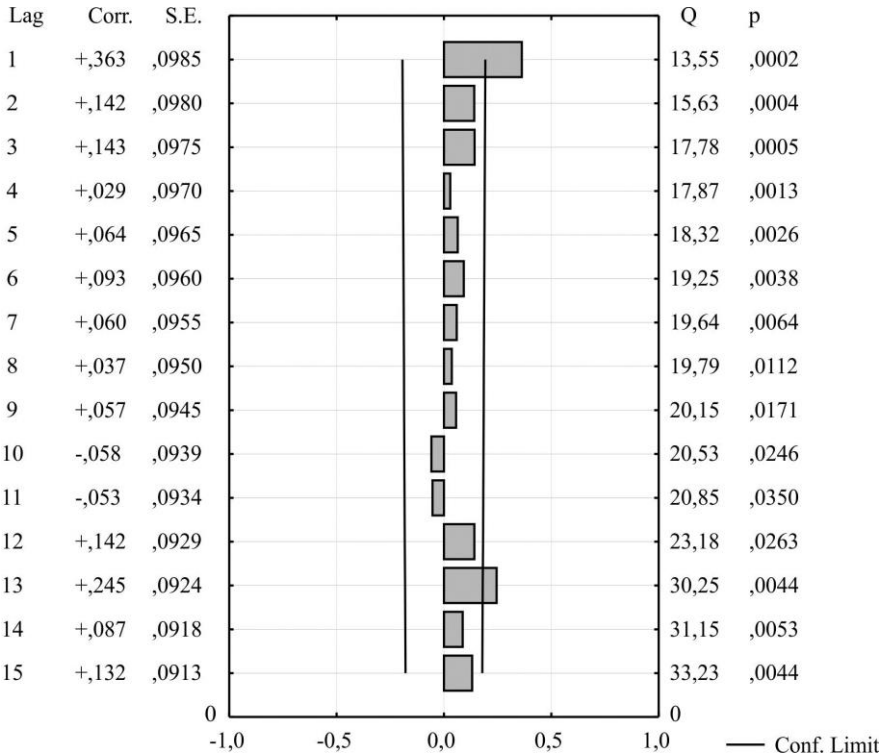


Рисунок 7.5 – Графік оцінки автокореляційної функції

Якщо автокореляційна функція має тенденцію до загасання, це свідчить про стаціонарність ряду.

На графіку автокореляційної функції (рисунок 7.5) спостерігається виражена тенденція до загасання, що може свідчити про стаціонарність динамічного ряду.

Часткова автокореляційна функція має викид на лагові 1, що також надає право віднести ряд до стаціонарного (рисунок 7.6).

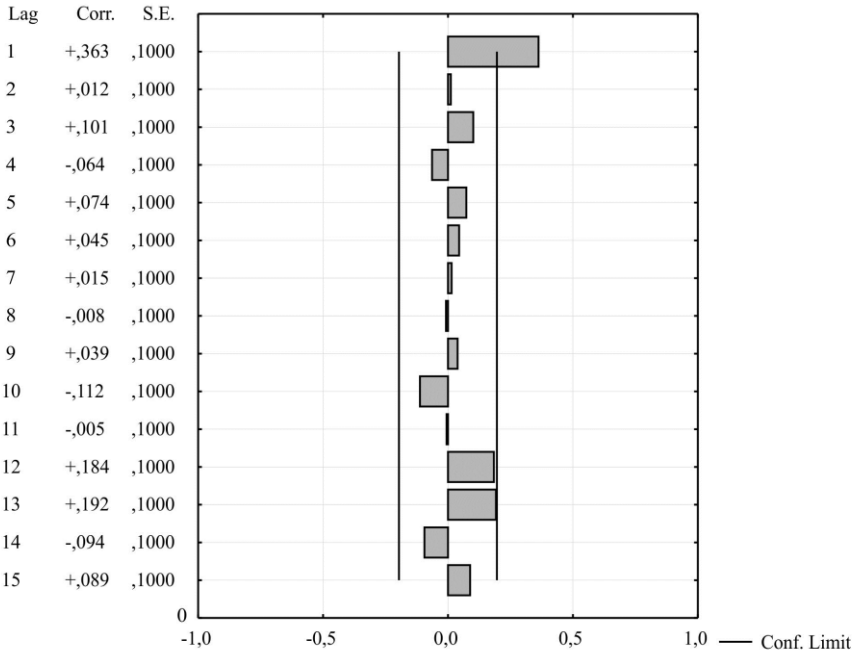


Рисунок 7.6 – Графік оцінки часткової автокореляційної функції

Ідентифікація моделі при стаціонарному ряді. У загальному випадку ідентифікація означає визначення порядку відповідних типів моделі:

- різницевого оператора d ;
- авторегресії p ;
- ковзного середнього q ;
- змішаної моделі з параметрами p й q .

Ідентифікація є досить грубою процедурою, у якій виходять приблизні значення порядку моделі. На етапі ідентифікації характерним є одержання декількох прийнятних моделей, які з достатнім ступенем точності підходять для опису спостережуваних даних і надалі використовуються для детального розгляду.

Основним оціночним критерієм ідентифікації є поводження автокореляційної і часткової автокореляційної функцій ряду. Оскільки ці функції в дійсності невідомі, то звичайно використовуються їх вибіркові оцінки. Візуально по графіках цих функцій можна

ідентифікувати моделі. Графіки й чисельні значення автокореляційної і часткової автокореляційної функцій є основним інструментом ідентифікації моделей (таблиця 7.2).

Статистичний аналіз у середовищі програм статистичного аналізу базується на наступних закономірностях, що зв'язують параметри k , m і поведження автокореляційної і часткової автокореляційної функцій ряду.

Якщо спостерігається процес авторегресії порядку k , то його часткова автокореляційна функція обривається на лагові k . Автокореляційна функція плавно спадає.

Якщо спостерігається процес ковзного середнього порядку m , тоді його автокореляційна функція обривається на лагові m . Часткова автокореляційна функція плавно спадає.

Розглядаються п'ять класів моделей для яких $k + m \leq 2$:

- моделі з одним параметром авторегресії: $k = 1, m = 0$;
- моделі із двома параметрами авторегресії: $k = 2, m = 0$;
- моделі з одним параметром ковзного середнього: $k = 0, m = 1$;
- моделі із двома параметрами ковзного середнього: $k = 0, m =$

2;

- моделі з одним параметром авто регресії й одним параметром ковзного середнього; $k = m = 1$.

Віднесення моделей до одному із цих класів здійснюється на підставі евристичної інтерпретації графіків автокореляційних і часткових автокореляційних функцій.

Для стаціонарного динамічного ряду графік автокореляційної функції з ростом значення лага s прагне до нуля. Наявність на корелограмі сплесків свідчить про сезонні або циклічні коливання рівнів ряду. Ці властивості автокореляційної і часткової автокореляційної функцій використовують для апіорного встановлення типу моделі.

На підставі зазначених властивостей по побудованих графіках автокореляційної і часткової автокореляційної функцій можна зробити попередній висновок стосовно можливого порядку процесу, який може бути використаний для опису аналізованого динамічного ряду.

Для того, щоб по отриманій реалізації процесу підібрати модель, необхідно попередньо вказати можливий порядок цієї моделі.

Таблиця 7.2 – Критерії ідентифікаційних ознак стаціонарних моделей

Критерій	Модель	Значення параметрів	Поведінка автокореляційної і часткової автокореляційної функцій
К 1	АР (1)	$k = 1,$ $m = 0$	Автокореляційна функція експоненціально загасає. Часткова автокореляційна функція має викид на лагові 1 (кореляції для інших затримок немає).
К 2	АР (2)	$k = 2,$ $m = 0$	Автокореляційна функція має форму загасаючої синусоїдальної хвилі або експоненціально загасає. Часткова автокореляційна функція має викид тільки для зрушень 1 і 2 (значення для інших затримок нульові)
К 3	СС (1)	$k = 0,$ $m = 1$	Автокореляційна функція має викид на зрушенні (інші значення нульові). Часткова автокореляційна функція експоненціально загасає: або монотонно, або осцилюючи (змінюючи знак).
К 4	СС (2)	$k = 0,$ $m = 2$	Автокореляційна функція має викиди для зрушень 1 і 2 (інші значення нульові). Часткова автокореляційна функція має форму синусоїдальної хвилі або експоненціально загасає.
К 5	АРСС (1,1)	$k = 1,$ $m = 1$	Автокореляційна функція, починаючи с першої затримки (перше значення нульове), експоненціально загасає. В частковій автокореляційній функції переважає загасаючий монотонний осцилюючий (перше значення нульове) експоненціальний член.

Для одних моделей більш зручними є автокореляційні функції, для інших – часткові автокореляційні функції. Спочатку доцільно використовувати більш прості критерії, однак для остаточного рішення необхідно застосовувати сукупність критеріїв. Критерії носять досить розпливчастий характер, крім того, при наявності вибірових оцінок, можлива ідентифікація кількох моделей, що варто розглядати як нормальний пошуковий результат.

Слід зазначити, що критерії для чистих моделей авторегресії й ковзного середнього двоїсті в тому розумінні, що одні виходять із інших заміною автокореляційної функції на часткову автокореляційну функцію.

Для нашого випадку (вихідний ряд стаціонарний) параметр різниці $d = 0$. Попередній вибір моделей відповідно до таблиці 7.2 і графіків автокореляційної та часткової автокореляційної функцій виконаний у таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Попередній вибір типів моделей

Апріорні висновки по візуальному аналізу автокореляційної та часткової автокореляційної функцій	Передбачуваний тип моделі
Автокореляційна функція експоненціально загасає. Часткова автокореляційна функція має викид на першому лагові	АР (1)
Значення часткової автокореляційної функції укладається в границі довірчого інтервалу на другому лагові.	АР (1)
Автокореляційна функція має викид на лагові 1. Часткова автокореляційна функція експоненціально загасає, осцилюючи.	СС (1)
Автокореляційна функція після першої затримки експоненціально загасає. У часткової автокореляційної функції спостерігається осцилюючий експоненціальний член.	АРСС (1,1)

Аналіз адекватності моделі. Модель може вважатись подібною, якщо залишковий компонент аналізованого ряду є процесом типу білого шуму. Для встановлення адекватності моделі досліджують залишки, що представляють собою різниці між спостережуваними значеннями динамічного ряду та значеннями, отриманими за допомогою отриманої моделі.

Якщо вибіркові оцінки кореляційної функції попадають у довірчий інтервал, то можна припустити, що значення процесу є білим шумом, а модель – адекватної аналізованому динамічному ряду.

Це справедливо й для випадку, коли одне або кілька значень вибірових значень автокореляційної та часткової автокореляційної функції білого шуму можуть виходити із зазначених меж.

На рисунках 7.7 та 7.8 представлені автокореляційна і часткова автокореляційна функції залишків моделі AP (1).

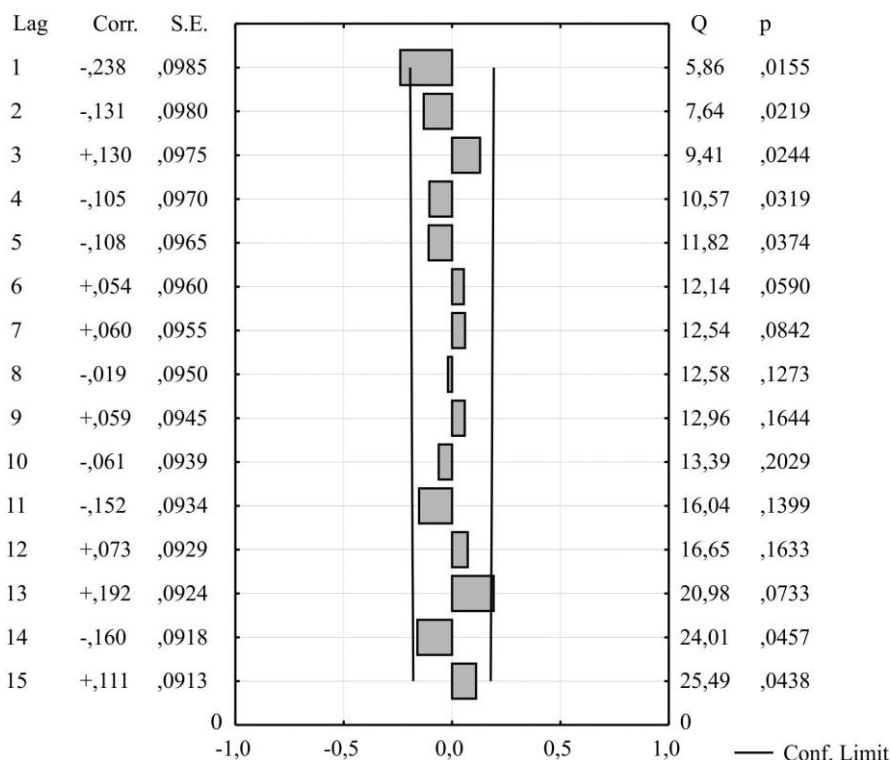


Рисунок 7.7 – Автокореляційна функція залишків моделі AP (1)

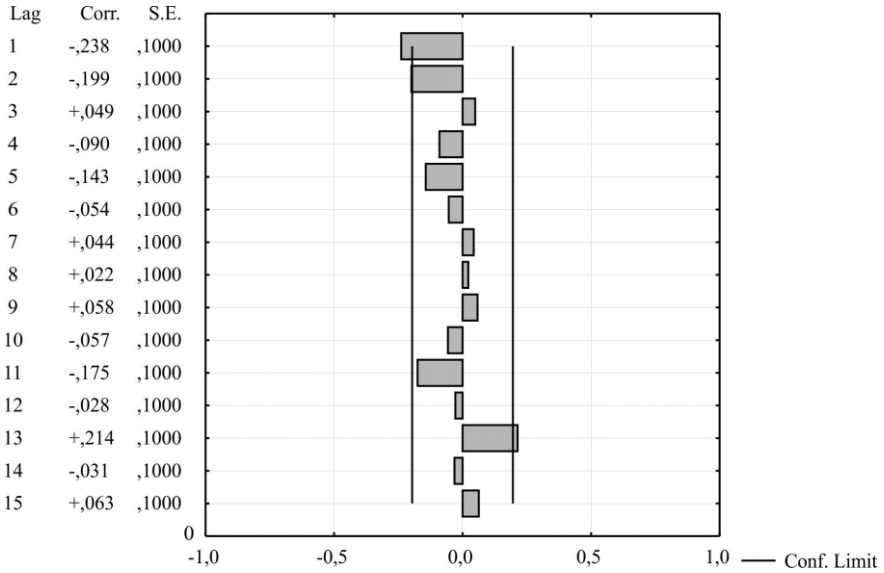


Рисунок 7.8 – Часткова автокореляційна функція залишків моделі АР (1)

На рисунку 7.9 наведений графік залишків моделі АР (1).

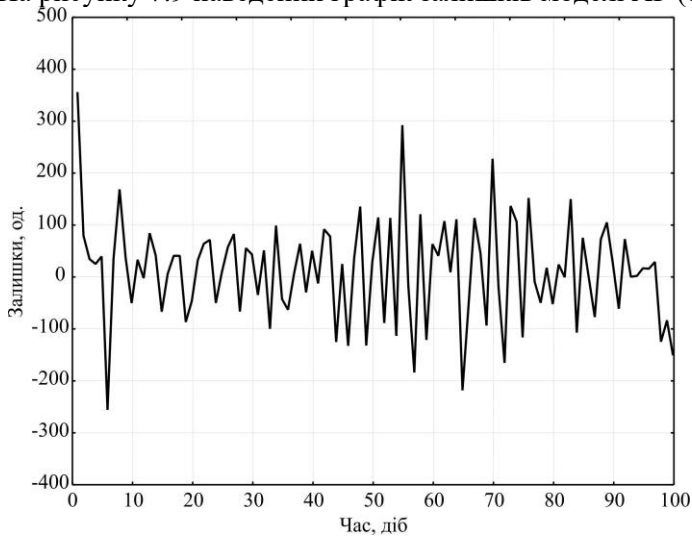


Рисунок 7.9 – Графік залишків моделі АР (1)

З аналізу графіків (рисунки 7.7, 7.8) можна зробити висновок, щодо незначного перевищення значень автокореляційної і часткової автокореляційної функцій меж 5% довірчого інтервалу на лагах 1 та 13.

У залишках відсутні періодичні коливання та систематичне зміщення, сильні кореляції (рисунок 7.9).

Аналіз розподілу залишків (рисунок 7.10) свідчить про відповідність його нормальному закону розподілу випадкової величини.

Таким чином, можна прийняти, що дана модель адекватна досліджуваному динамічному ряду.

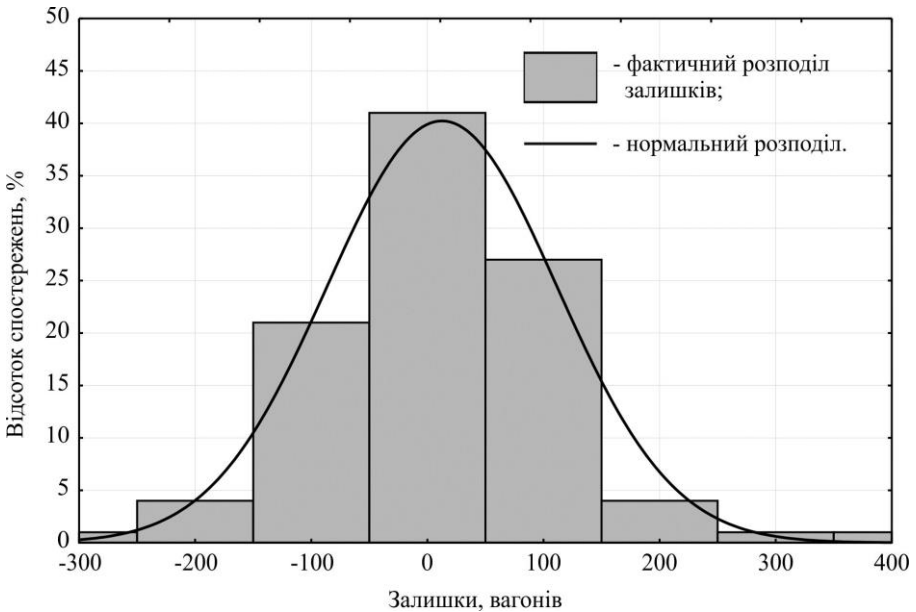


Рисунок 7.9 - Аналіз відповідності залишків нормальному розподілу

Результати прогнозування за отриманою авторегресійною моделлю першого порядку $Q_i = 272,2037 + 0,3557Q_{i+1}$ представлені на рисунку 7.10.

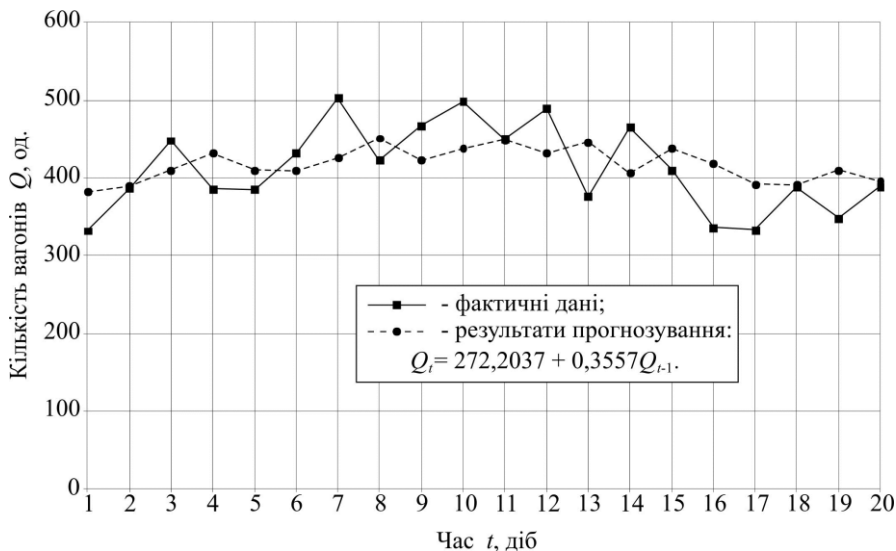


Рисунок 7.10 – Результати прогнозування обсягів надходження вантажів на комбінат «Запоріжсталь»

Середня абсолютна похибка отриманих прогнозних значень складає 10,2%, тобто прогноз вважається хорошим (результати з похибкою менше 10% вважаються високоточними).

ТЕМА 8. ПРОГНОЗУВАННЯ ПЛАНОВИХ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ФАКТОРНОГО ТА РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

8.1 Визначення факторів впливу на показники використання вагонів магістрального парку

Використовуючи сучасні логістичні концепції до роботи металургійного підприємства, необхідно відмітити тісний зв'язок між організацією постачання сировини та збуту готової продукції. Як для сировини, так і для готової продукції використовуються, головним чином, ті ж самі транспортні засоби – магістральні вагони. Щодо процесу проходження вагонів по під'їзній колії підприємства, відомо, що цей процес залежить від багатьох факторів, деякі з яких мають випадковий характер. Сучасні моделі транспортних систем, зазвичай, враховують вплив тільки суттєвих факторів роботи транспорту. Пропонується удосконалити модель роботи транспортної системи металургійного підприємства, яка б, на відміну від існуючих, враховувала б також вплив прихованих (латентних) факторів.

Час знаходження вагонів на під'їзній колії, хоча і нормується за відомими методиками, має випадковий характер, що характерно для складних технічних систем. На час знаходження вагонів на під'їзній колії впливає багато факторів. Задача скорочення тривалості знаходження вагонів на коліях металургійних підприємств є важливою та актуальною задачею. Але відсутня наукова класифікація, яка враховує значні зміни в підході до управління роботу транспорту на металургійних підприємствах, зокрема з позицій логістики.

На промислових підприємствах ведеться номерний облік вантажних вагонів. З метою виконання аналізу ефективності роботи транспортної системи по кожному вагону у електронні бази даних заноситься інформація щодо виконання транспортних, вантажних, комерційних та інших операцій (ремонт, очікування оформлення вантажних та митних документів тощо).

По кожному номеру вагону обсяг інформації може складати декілька сотень полів різноманітних даних: станція відправлення,

постачальник сировини, дати приймання, відправлення, початку та закінчення вантажних операцій, очищення, митного оформлення, ремонту, найменування вантажу, його ваги, типу рухомого складу, найменування вантажних фронтів, найменування продукції, схеми навантаження та ін.

Аналіз роботи транспортної системи, як правило, здійснюється за укрупненими (добовими, місячними, кварталними, річними) показниками, або за вагонами, час знаходження яких на під'їзній колії значно перевищує нормативні значення.

Вищезазначені якісні зміни у системі обліку інформації про стан роботи потребують формування нового наукового підходу до їх аналізу, систематизації для вироблення стратегій прийняття управлінських рішень та впровадження інженерно-технічних заходів, які підвищують ефективність роботи транспортної системи.

Розглянемо використання факторного та регресійного аналізу на етапі аналізу статистичних даних для виділення груп факторів, які впливають на показники роботи транспорту, пояснення наявних зв'язків між ознаками досліджуваних процесів.

Безпосередньо на металургійних підприємствах інформація щодо переміщення вантажів залізничним транспортом зберігається централізовано на сервері відділу автоматизованих систем управління виробництвом. Введення даних здійснюється персоналом різних підрозділів, найбільший обсяг робіт виконується на обмінному пункті підприємства.

На першому етапі складемо перелік тих властивостей досліджуваного явища, які бажано урахувати при аналізі. В ході відбору ознак проведено зважування різних характеристик явища: найбільш суттєві властивості, як правило, представлені у досліджуваному наборі ознак значною їх кількістю. До аналізу, при необхідності, приймались декілька додаткових схожих між собою показників, для всебічного відбивання досліджуваної характеристики.

З метою пошуку прихованих (латентних) факторів до аналізу введено ряд даних, які не мають явного прямого зв'язку із досліджуваними показниками. До аналізу не включались лінійно взаємозалежні ознаки.

Оскільки в кількість досліджуваних об'єктів включені об'єкти різного значення, було проведено їх виваження. Щоб здійснити зіставлення ознак і усунути вплив розмірності, матриці вихідних

даних було трансформовано шляхом вводу єдиного для всіх ознак масштабу. Приведення до стандартної форми виконано за формулою:

$$z_{ji} = \frac{x_{ji} - \bar{x}_i}{\sigma_j}, \quad (i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}) \quad (8.1)$$

де x_{ji} – значення j -ої ознаки для i -го об'єкта ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$);

\bar{x}_j – середнє арифметичне значення j -ої оцінки;

σ_j – середньоквадратичне відхилення j -ої ознаки.

В ході досліджень були зібрані дані, які характеризують розміри та інтенсивності руху вантажів металургійного підприємства протягом двох років. У якості змінних, серед яких здійснювалось встановлення факторів, які впливають на роботу транспортної системи металургійного підприємства, розглядались наступні групи: найменування та обсяги надходження і відправлення вантажів; кількість вантажних вагонів за типами; розподіл вагонів по вантажним фронтам; кількість, характер та тривалість операцій, які виконуються із вантажними вагонами; основні станції призначення та відправлення вантажів, терміни доставки тощо. Зібрані дані є структурними ознаками. Суб'єктивними ознаками є дані погодних умов, які були зібрані за той же період. Таким чином, були зібрані статистичні дані за 65 змінними.

На початковому етапі факторного аналізу виконувалися виключення із дублюючих змінних менш інформативних. За допомогою програмних засобів був розглянутий простір загальних факторів. Методом каменистого осипу встановлено фактори, які мають більше навантаження (рис. 8.1).

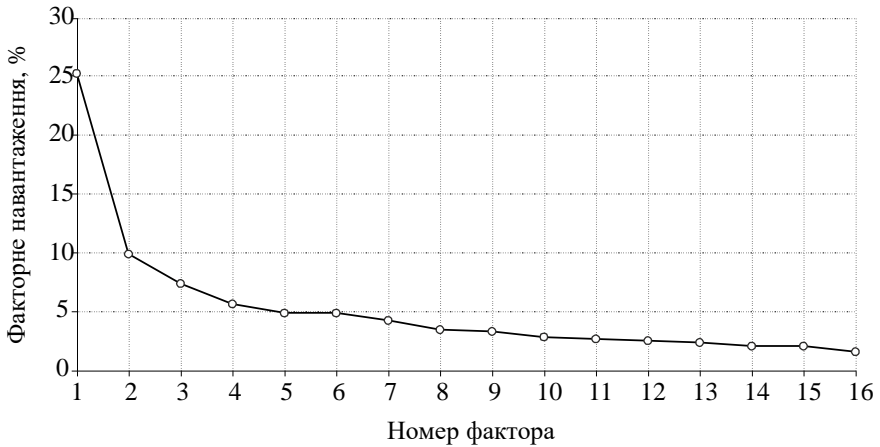


Рисунок 8.1 – Визначення головних факторів методом каменистого осипу

Це фактори №1 та №2, за якими побудуємо систему координат. Розглянемо кореляцію між змінними та цими двома факторами.

Завдання наукового дослідження полягає у інтерпретації отриманих графіків розподілу змінних по системі координат. На рис. 8.2 виконано факторний аналіз змінних методом головних компонент без обертання. Цифрами позначено номери змінних, які аналізувалися.

Для всебічного аналізу даних використовували метод обертання. Обертання (ротація) переміщує чинники відносно змінних таким чином, що кожен чинник починає володіти декількома істотними навантаженнями і декількома навантаженнями близькими до нуля. Мета обертання – перетворити факторну матрицю так, щоб вийшла проста структура.

У практиці факторного аналізу використовуються різні варіанти обертання чинників. Суть ортогонального обертання полягає в тому, що при обертанні залишається вірним припущення про незалежність чинників. Використовуються наступні методи обертання: варімакс, квартімакс, еквімакс, біквартімакс та ін.

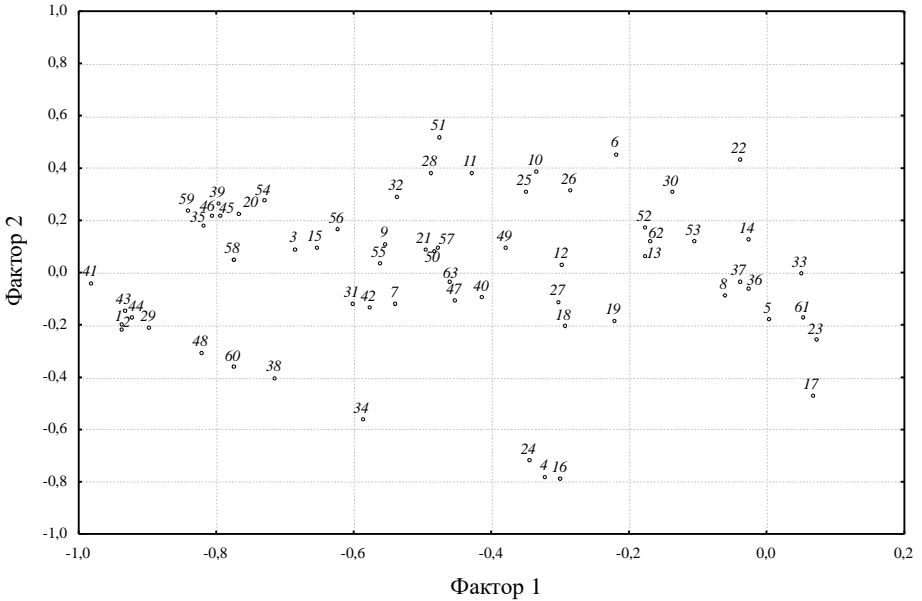


Рисунок 8.2 – Факторний аналіз методом головних компонент без обертання

При використанні методу варімакс мінімізується кількість змінних, що мають високі навантаження на даний чинник, при цьому максимально збільшується дисперсія чинника. Це сприяє спрощенню опису чинника за рахунок угруповання довкола нього лише тих змінних, які більшою мірою пов'язані з ним, ніж інші. Ортогональне обертання методом варімакс представлено на рис. 8.3, 8.4.

Аналіз представлених графіків розсіювання даних свідчить про незмінність загального взаємного розміщення досліджуваних змінних в системі координат.

За рис. 8.2 розглянемо можливість виключення окремих змінних. Для цього позначимо області ущільненого розміщення точок на графіку.

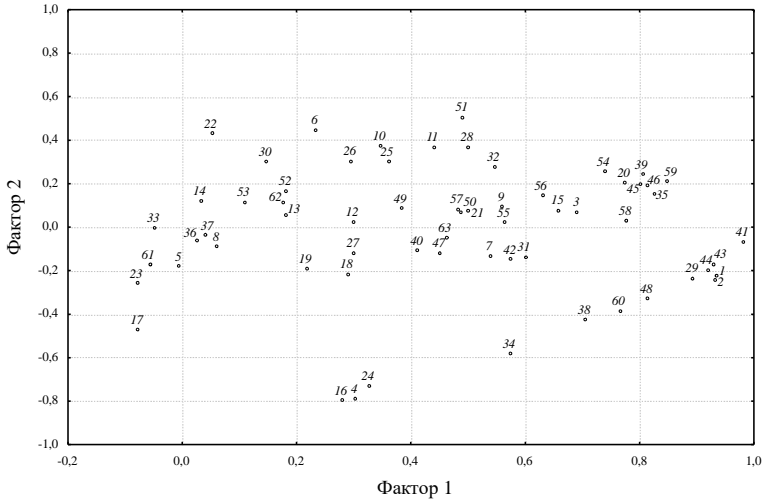


Рисунок 8.3 – Ортогональне обертання методом варімакс

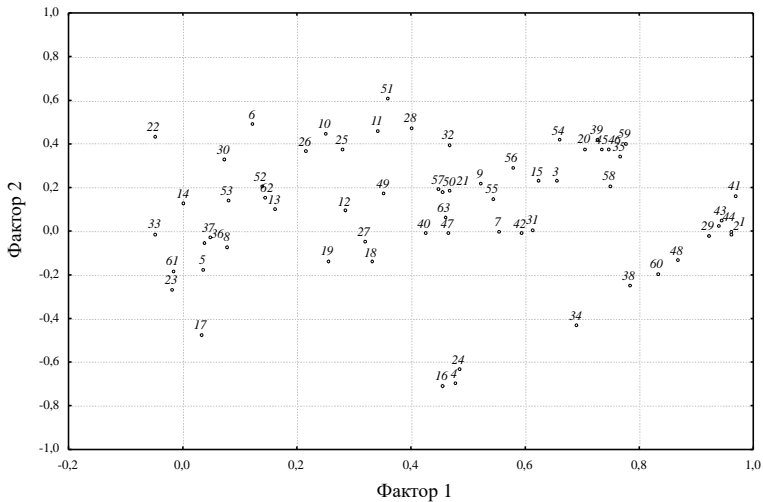


Рисунок 8.4 – Ортогональне обертання методом нормалізованого варімаксу

Шляхом візуального аналізу було виділено 15 областей, які показані на рис. 8.5. Кожну з областей проаналізовано експертним

методом та виключені близькі за змістом ознаки. Таким чином було виключено 21 змінну.

Подальший аналіз змінних спрямований на визначення значущих змінних. Обертання чинників змінює їх положення по відношенню до змінних таким чином, що отримане рішення легко інтерпретувати.

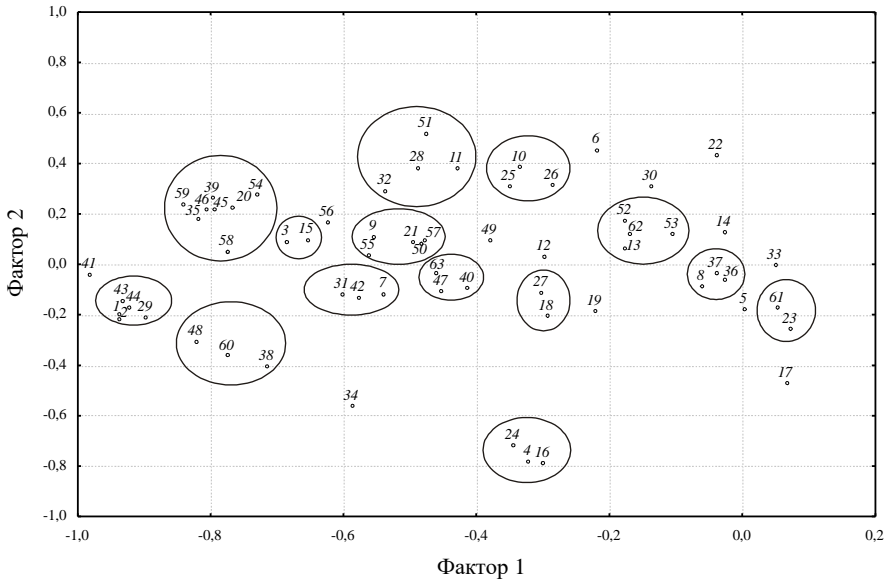


Рисунок 8.5 – Аналіз областей зі щільно розташованими точками даних

Фактори ідентифікують, спостерігаючи, які змінні мають високі і низькі навантаження (рис. 8.6, таблиця 8.1).

За даними аналізу факторне навантаження більше 0,7 по фактору №1 мають змінні 20, 41, 44, 46, 59.

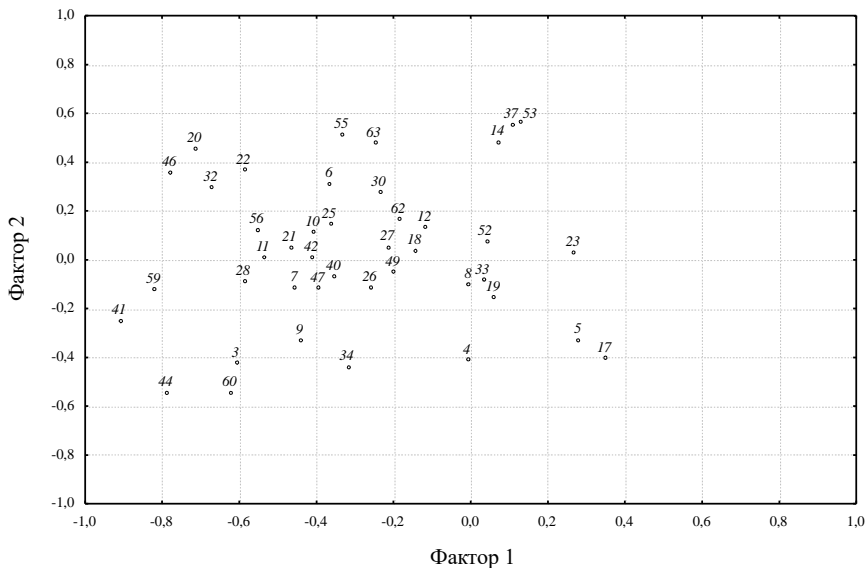


Рисунок 8.6 – Графік розсіювання факторних навантаження без обертання

Таблиця 8.1 – Факторні навантаження без обертання

Змінні	Фактор 1	Фактор 2	Змінні	Фактор 1	Фактор 2
3	-0,609	-0,420	28	-0,589	-0,086
4	-0,010	-0,407	30	-0,237	0,280
5	0,279	-0,324	32	-0,672	0,298
6	-0,367	0,315	33	0,032	-0,080
7	-0,457	-0,110	34	-0,319	-0,435
8	-0,006	-0,100	37	0,107	0,558
9	-0,443	-0,327	40	-0,354	-0,067
10	-0,408	0,116	41	-0,910	-0,246
11	-0,536	0,011	42	-0,412	0,014
12	-0,119	0,138	44	-0,790	-0,540
14	0,071	0,486	46	-0,780	0,360
17	0,349	-0,400	47	-0,395	-0,112

Продовження таблиці 8.1

Змінні	Фактор 1	Фактор 2	Змінні	Фактор 1	Фактор 2
18	-0,145	0,041	49	-0,200	-0,047
19	0,059	-0,152	52	0,039	0,079
20	-0,715	0,458	53	0,130	0,571
21	-0,469	0,052	55	-0,334	0,516
22	-0,587	0,371	56	-0,553	0,127
23	0,267	0,035	59	-0,822	-0,119
25	-0,365	0,151	60	-0,623	-0,541
26	-0,260	-0,110	62	-0,186	0,168
27	-0,215	0,055	63	-0,250	0,482

Подальші перетворення факторної матриці були виконані методом варімакс, результати яких представлені на рис. 8.7, 8.8 та у таблицях 8.2, 8.3.

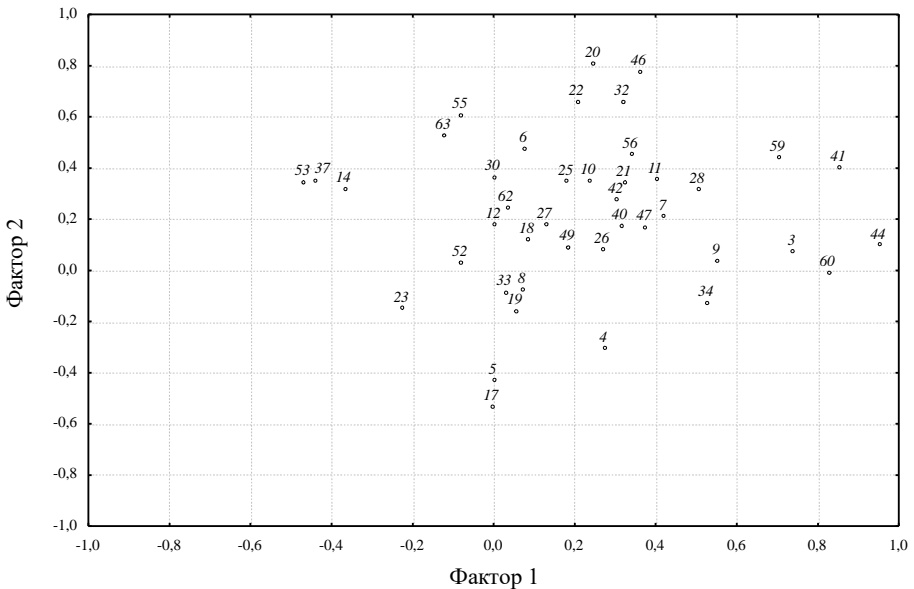


Рисунок 8.7 – Графік розсіювання факторних навантажень із обертанням методом варімакс

За даними аналізу при обертанні методом варімакс факторне навантаження більше 0,7 по фактору №1 мають змінні 3, 41, 44, 59, 60; фактору №2 – змінні 20, 46.

Таблиця 8.2 – Факторні навантаження з обертанням методом варімакс

Змінні	Фактор 1	Фактор 2	Змінні	Фактор 1	Фактор 2
3	0,736	0,077	18	0,084	0,125
4	0,272	-0,303	19	0,054	-0,154
5	-0,001	-0,427	20	0,246	0,813
6	0,074	0,478	21	0,323	0,344
7	0,418	0,213	22	0,205	0,663
8	0,070	-0,072	23	-0,225	-0,146
9	0,549	0,039	25	0,180	0,351
10	0,235	0,353	26	0,269	0,085
11	0,400	0,357	27	0,127	0,181
12	0,001	0,182	28	0,503	0,317
14	-0,370	0,324	30	-0,002	0,367
17	-0,005	-0,531	32	0,318	0,663
33	0,028	-0,082	49	0,183	0,095
34	0,525	-0,123	52	-0,081	0,035
37	-0,443	0,355	53	-0,470	0,350
40	0,313	0,179	55	-0,082	0,609
41	0,852	0,404	56	0,338	0,456
42	0,304	0,278	59	0,702	0,443
44	0,95	0,102	60	0,825	-0,006
46	0,360	0,780	62	0,032	0,248
47	0,373	0,172	63	-0,123	0,529

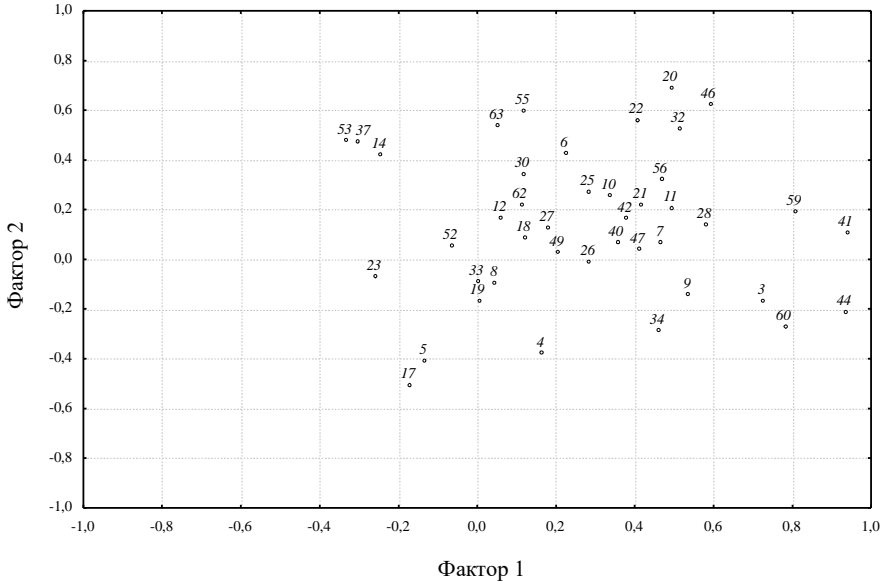


Рисунок 8.8 – Графік розсіювання факторних навантажень із обертанням методом варімакс нормалізований

Таблиця 8.3 – Факторні навантаження з обертанням методом варімакс нормалізований

Змінні	Фактор 1	Фактор 2	Змінні	Фактор 1	Фактор 2
3	0,722	-0,161	28	0,578	0,141
4	0,161	-0,374	30	0,115	0,349
5	-0,137	-0,405	32	0,512	0,528
6	0,222	0,429	33	0,0002	-0,086
7	0,465	0,069	34	0,459	-0,284
8	0,043	-0,090	37	-0,307	0,477
9	0,533	-0,138	40	0,354	0,071
10	0,335	0,260	41	0,936	0,112

Продовження таблиці 8.3

Змінні	Фактор 1	Фактор 2	Змінні	Фактор 1	Фактор 2
11	0,493	0,211	42	0,376	0,167
12	0,059	0,172	44	0,934	-0,206
14	-0,247	0,424	46	0,589	0,625
17	-0,174	-0,501	47	0,408	0,044
18	0,119	0,092	49	0,203	0,032
19	0,002	-0,163	52	-0,066	0,059
20	0,491	0,692	53	-0,334	0,481
21	0,415	0,224	55	0,116	0,603
22	0,406	0,564	56	0,466	0,325
23	-0,260	-0,067	59	0,806	0,197
25	0,282	0,276	60	0,780	-0,268
26	0,283	-0,005	62	0,110	0,225
27	0,178	0,131	63	0,051	0,540

За даними аналізу при обертанні методом варімакс нормалізований факторне навантаження більше 0,7 по фактору №1 мають змінні 3, 20, 41, 44, 46, 59, 60. Визначений масив даних об'єднаний із суб'єктивними ознаками, які характеризують погодні умови.

Для остаточного визначення змінних, які необхідно включити в регресійну модель роботи транспортної системи, виконаємо факторний аналіз об'єднаної матриці структурних та суб'єктивних даних (змінні №3, 20, 41, 44, 46, 59, 60, 64, 65). У таблиці 8.4 наведено факторні навантаження об'єднаної матриці даних при факторному аналізі без обертання, та з обертанням методом варімакс.

Таблиця 8.4 – Факторні навантаження об'єднаної матриці даних

Змінні	Без обертання		Варімакс		Нормалізований варімакс	
	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 1	Фактор 2
3	0,780	0,281	0,817	0,137	0,816	0,144
20	0,646	0,508	0,315	0,759	0,308	0,762
41	0,933	0,079	0,853	0,388	0,849	0,396
44	0,896	0,358	0,957	0,126	0,955	0,135
46	0,695	0,351	0,435	0,646	0,428	0,650
59	0,794	0,098	0,741	0,303	0,738	0,310
60	0,757	0,471	0,891	-0,040	0,891	-0,032
64	0,402	0,626	0,045	0,743	0,038	0,743
65	0,372	0,602	-0,031	-0,707	-0,024	-0,707

За результатами факторного аналізу, лише змінна №46 має навантаження менше за 0,7. Але, оскільки навантаження становить близьке до 0,7 значення, залишаємо всі змінні для побудови регресійної моделі роботи транспортної системи.

Із 65 факторів для подальшого аналізу відібрано лише 9, оскільки зайве розширення моделі може призвести до труднощів інтерпретації одержаних параметрів, а також з урахуванням принципу неповторення (неприпустиме використання показників, які є складовою частиною інших). До даних параметрів віднесено такі:

- обсяги надходження маршрутів із залізородним концентратом x_1 ;
- обсяг надходження маршрутних составів (окрім концентрату) x_2 ;
- обсяг надходження інших (не маршрутних) вантажів x_3 ;
- фактичний термін доставки вантажів x_4 ;
- обсяг відправлення вагонів із металопродукцією x_5 ;
- обсяг відправлення інших вантажів x_6 ;
- нормативний термін простою x_7 ;
- середня температура повітря x_8 ;
- погодні умови x_9 .

Очевидно, що ці фактори є суттєвими для якісної оцінки транспортних процесів металургійного підприємства. Всі вищезазначені фактори мають кількісний вираз (погодні умови, в залежності від їх типу були оцінені по ступені впливу на транспортний процес).

Виконано перевірку факторів на мультиколінеарність. Для цього побудовано матрицю коефіцієнтів кореляції (таблиця 8.5). Значення коефіцієнтів регресії не перевищує 0,8; отже фактори не колінеарні між собою.

Таблиця 8.5 – Матриця коефіцієнтів кореляції

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9
x_1	1	-0,07	0,25	0,35	0,08	0,52	0,64	0,24	-0,19
x_2		1	-0,35	-0,08	0,22	0,11	0,28	-0,11	0,08
x_3			1	0,21	0,15	0,68	0,5	0,27	-0,22
x_4				1	0,01	0,41	0,57	0,36	-0,30
x_5					1	0,24	0,4	-0,06	0,09
x_6						1	0,76	0,17	-0,28
x_7							1	0,28	-0,22
x_8								1	-0,55
x_9									1

Отримане рівняння регресійної моделі має вигляд:

$$Y = -13,59x_1 - 17,56x_2 + 1,90x_3 + 9,76x_4 - 48,20x_5 - 1,54x_6 + 2,12x_7 - 806,15x_8 - 1614,62x_9 - 5351,6. \quad (8.2)$$

Оцінка адекватності та точності регресійної моделі показала, що середнє відхилення фактичного часу знаходження вагонів на під'їзній колії комбінату «Запоріжсталь» від нормативного часу складає 47% при максимальному відхиленні 128%. За результатами роботи регресійної моделі, середнє відхилення фактичного часу від розрахованого, становить 1% при максимальному відхиленні 29%.

Побудована за допомогою цього методу модель роботи транспортної системи металургійного підприємства, яка, на відміну від існуючих моделей, враховує вплив прихованих (латентних) факторів. Отримані результати дозволяють більш якісно виконувати планування перевезень.

ТЕМА 9. МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ

Виробництво чавуну на більшості підприємств передбачає використання гарячого агломерату. При власному виробництві агломерату його перевезення здійснюється від агломашин до приймальних бункерів доменного цеху у складах, що складаються з вагонів бункерного типу, які закріплені за цією ділянкою. Ці перевезення характеризує висока інтенсивність та короткий період навантаження составів (на ПАТ «Запоріжсталь» він складає близько 26-27 хвилин – рис. 9.1).



Рисунок 9.1 – Гістограма емпіричного розподілу періодів навантаження вагонів агломератом

Для забезпечення такої інтенсивності перевезень використовується 5 составів. Управління цими перевезеннями полягає в організації їх пріоритетного виконання та швидкій ліквідації ситуацій порушення нормального ходу транспортно-технологічного процесу. Складання графіків руху за таких умов інтенсивності перевезень є недоцільним. Коливання часу виконання вантажних

операцій згладжуються оперативним коригуванням тривалості періодів очікування складами початку цих операцій.

В доменному виробництві завантаження печей матеріалами й процес плавки йдуть безупинно, тому графіки випуску чавуну та шлаку доцільно робити рівномірними як по окремих печах, так і в цілому по цеху. Така побудова графіку випусків полегшує організацію доставки чавуну до агрегатів виплавки сталі, розливних машин та до ливарного цеху. Більша частина чавуну транспортується в сталеплавильні цехи. Чавуновозні ковші формуються в состави. Кількість ковшів в одному составі визначають із розрахунку прийому всього чавуну даного випуску з печі плюс один резервний ківш.

Існує два підходи до управління перевізним процесом. Перший полягає в закріпленні составів на обслуговуванні певних печей (у випадку, коли тривалість обороту стабільно є меншою за періодичність випуску чавуну, або коли ці причини обумовлені хімічним складом продукції). Зазвичай час оберту ковшів не збігається з інтервалами між суміжними випусками на одній печі, тому ковші не закріплюють за певними печами. При цьому досягається більш ефективне використання парку ковшів.

Розмічений граф станів системи перевезень продукції агломераційного та доменного цеху на прикладі комбінату «Запоріжсталь» наведений на рис. 9.2, де позначені можливі варіанти роботи:

- навантаження у звичайному режимі Н1;
- навантаження у режимі зміни подавання агломерату або підтягування составу чавуновозних ковшів в процесі навантаження – Н2 (в процесі прибирання вагонів з агломератом з фронту навантаження, лотки перекидаються на суміжну колію, де протягом більш тривалого часу навантажуються інший состав вагонів; при підтягуванні составу ковшів ванна з рідким чавуном перехилиється для навантаження окремого ковша);
- формування з кількох составів одного – Ф;
- зважування вагонів – ЗВ;
- подавання та очікування розвантаження – ОР;
- розвантаження за основним варіантом технологічного процесу – Р1 (агломерат надходить до приймальних бункерів, чавун – до міксеру та сталеплавильних агрегатів);

- розвантаження за неосновним варіантом технологічного процесу – P2 (брак агломерату розвантажується на рудний двір, частина чавуну надходить до розливних машин, ливарного цеху або до іншого підприємства);

- ремонт вагонів (ковшів) – PB;

- перехід рухомого складу у резерв (запас) – З;

- подавання составу та очікування навантаження – ОН.

Процеси транспортування, внаслідок їх порівняно короткої тривалості, враховані у відповідних станах системи (а саме в тих, в які вона переходить після операції транспортування).

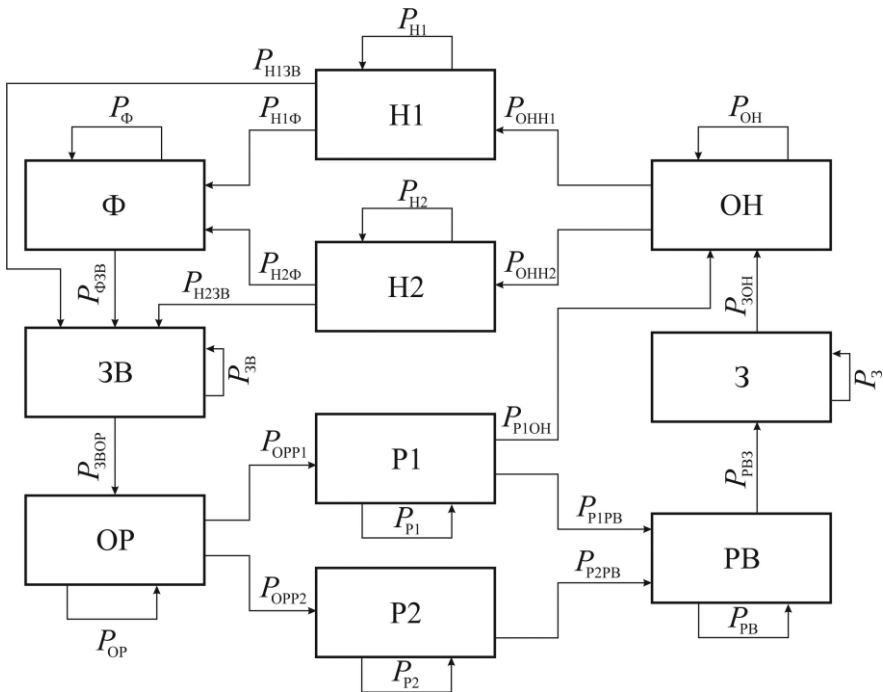


Рисунок 9.2 – Граф станів систем перевезення продукції агломераційного та доменного цеху

Основним контуром, за яким здійснюється зміна стану рухомого складу є Н1-ЗВ-ОР-П1-ОН, тобто послідовне

навантаження, зважування, очікування розвантаження, розвантаження та очікування чергового навантаження вагонів.

При виявленні несправностей або планових заходах рухомий склад направляється у ремонт, після якого вагон становиться у запас.

Відмінність системи перевезень шлаку може полягати у відсутності операції зважування ковшів. Розвантаження може здійснюватись також за двома варіантами: в басейн грануляції, або на звалище. Процеси вибивання ковшів можуть бути віднесені до стану вивантаження. Можуть бути введені такі стани системи, як транспортування, оскільки ці процеси є більш тривалими у порівнянні з перевезеннями чавуну та агломерату.

Виробництво сталі як в мартенівських, так і у киснево-конвертерних цехах містить у собі наступні основні щаблі процесу: виплавку сталі, підготовку й подачу шихтових матеріалів до печей, розливання сталі у виливниці й на машинах безперервного лиття заготовок, роздягання злитків, підготовку сталерозливних составів під плавку. Всі процеси взаємозалежні й безупинно протікають на відповідних спеціалізованих ділянках (пічний проліт з міксерним відділенням, шихтовий двір, розливний проліт, відділення роздягання злитків, цех підготовки сталерозливних составів, склад злитків та виливниць).

Оперативне управління перевезеннями здійснюється за вказівками робітників виробничих підрозділів. Диспетчерський персонал транспортного підрозділу фактично розподіляє роботу між локомотивами та може здійснювати групування кількох составів в один.

Необхідно враховувати складність управління перевезеннями при проведенні ремонтів основного обладнання цехів, коли необхідне залучення додаткових ресурсів – локомотивів, вагонів; доцільно виконати ремонти стрілок, колій та ін. В таких випадках необхідна розробка та узгодженість між всіма підрозділами графіків ремонту та виконання перевезень.

ТЕМА 10. СИСТЕМИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ АЕРОПОРТУ В ПРОЦЕСІ ВЗАЄМОДІЇ ПОВІТРЯНОГО, АВТОМОБІЛЬНОГО ТА ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Розглянемо систему взаємодії видів транспорту для обслуговування пасажирів в аеропорту (на прикладі міжнародного аеропорту міста Запоріжжя). Ефективність пасажирських авіаційних перевезень значно підвищується при скороченні часу доставки пасажирів з міст в аеропорти. Досягти цього можливо тільки за рахунок взаємодії повітряного з наземними видами транспорту. Для цього потрібно виконати дослідження параметрів функціонування реальної транспортної системи взаємодії повітряного та наземних видів транспорту при обслуговуванні пасажирів.

Існуюча система доставки пасажирів, незважаючи на близько розташовані автомобільний шлях високої пропускної спроможності та залізничну колію «Укрзалізниці», використовує лише тупикову автомобільну дорогу місцевого значення в місці розташування аеропорту. Для вирішення проблеми транспортного обслуговування авіаційних пасажирів з урахуванням стохастичного характеру пасажиропотоків, виконаємо дослідження методом імітаційного моделювання. Її ключовими елементами є пункти пересадки пасажирів на залізничній станції та аеропорту.

На прикладі роботи Запорізького міжнародного аеропорту (ЗМА) на початку 2022 року його транспортне обслуговування забезпечується чотирма автобусними маршрутами, які поєднують аеропорт з різними районами міста, розташованими в лівобережній частині. Аналіз існуючих автобусних маршрутів доводить, що переміщення пасажирів з правобережної частини міста та прилеглих до неї населених пунктів області міським транспортом не є достатньо комфортним.

Територіально ЗМА розташований на невеликій відстані від траси Запоріжжя – Донецьк та залізничної лінії напрямку з півдня на північ. Але, прямого виходу на залізницю аеропорт не має. Раніше було розроблено проєкт руху рейкового автобусу з правобережної частини міста Запоріжжя до аеропорту, який би поєднав обидві береги

Дніпра без «пробок» та заторів. Однак до реалізації таких планів діло поки що не дійшло, петиції авторів не набрали достатньої кількості голосів для розгляду.

З урахуванням пропозицій з транспортного обслуговування ЗМА, можна сформулювати концепцію розвитку транспортної системи міста в цьому напрямку. Наявність шляхів залізничного сполучення у безпосередній близькості до аеропорту (близько 250 метрів) є перевагою перед іншими аналогічними об'єктами. В Україні вже реалізовано таку систему перевезення пасажирів: з Києва до аеропорту Бориспіль.

Проведений аналіз системи транспортного обслуговування Запорізького міжнародного аеропорту показав її недоліки, а саме:

- система доставки пасажирів, незважаючи на близько розташовані автомобільний шлях високої пропускної спроможності (траса Запоріжжя-Донецьк) та залізничну колію «Укрзалізниці», використовує лише тупикову автомобільну дорогу місцевого значення в місці розташування ЗМА;

- не зважаючи на потенціал аеропорту щодо можливості зростання пасажиропотоку, зміни інфраструктури, яка призначена для обслуговування ЗМА, не плануються (проблеми вирішені створенням додаткового автобусного маршруту, що, очевидно, є тимчасовим результатом);

- наявні петиції, які підтримані певною кількістю мешканців Запоріжжя, та, хоча й не набрали потрібної кількості голосів для розгляду, звертають увагу щодо необхідності формування комплексного підходу до вирішення задачі транспортного обслуговування ЗМА з огляду на перспективи його розвитку.

Для удосконалення транспортного обслуговування пасажирів аеропорту пропонується: розробити імітаційну модель взаємодії повітряного транспорту з автомобільним та залізничним в системі обслуговування ЗМА; проаналізувати перспективні можливості залучення залізничного транспорту, як більш потужного, ніж автомобільний; провести експерименти із застосуванням імітаційного моделювання. На підставі аналізу отриманих результатів експериментів розробити рекомендації з удосконалення технології транспортного обслуговування ЗМА.

На рисунку 10.1 наведена концептуальна модель взаємодії різних видів пасажирського транспорту. Ключовими елементами

представленої системи є пункти пересадки пасажирів на залізничній станції та аеропорту.

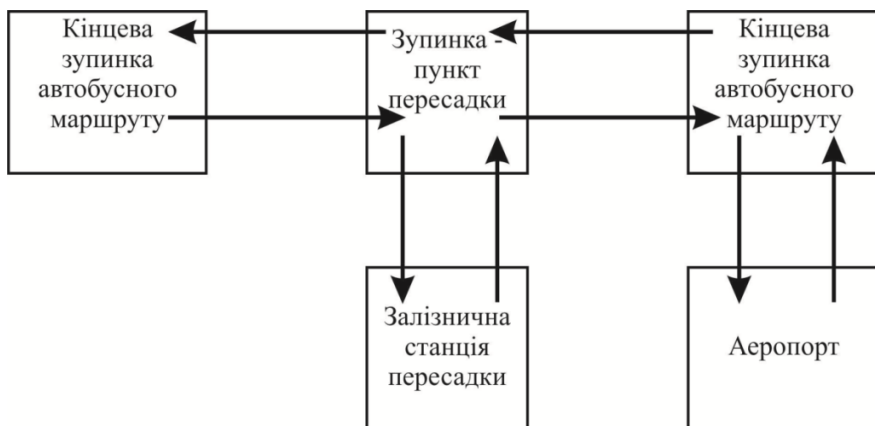


Рисунок 10.1 – Концептуальна модель взаємодії повітряного транспорту із залізничним та автомобільним

Імітаційна модель оснований на функціонуванні системи міського автомобільного транспорту, яка діє в районі аеропорту. У попередніх дослідженнях встановлено, що громадський транспорт виконує близько 60% перевезень в розглядуваній системі.

В ході дослідження було встановлено, що діючі автобусні маршрути охоплюють залізничну станцію Запоріжжя-1, в той час як станцію Запоріжжя-2 оминають. Саме останню станцію здійснюється рух залізничного транспорту до правобережної частини міста та області. Тому було запропоновано змінити рух одного з автобусних маршрутів.

На рисунку 10.2 наведені існуюча та пропонована схеми руху обраного автобусного маршруту. Новий маршрут побудований з урахуванням безпеки дорожнього руху, та оминає небезпечні місця руху.

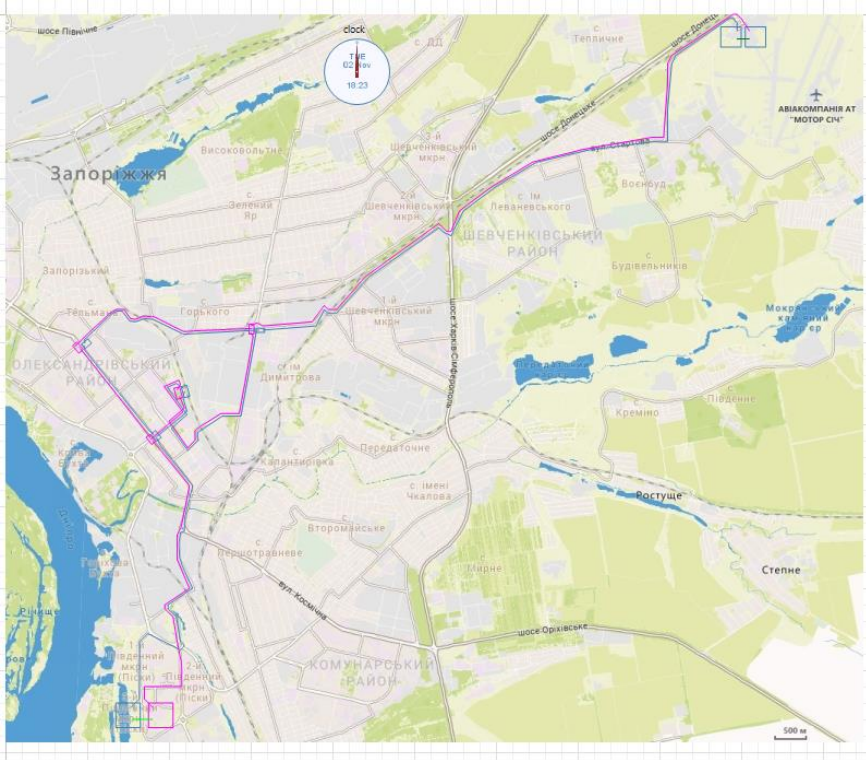


Рисунок 10.2 – Схема маршруту руху автомобільного транспорту

Розроблена імітаційна модель передбачає можливість «перемикання» існуючої та пропонованої схем маршруту руху автобусу, що було реалізовано в транспортній мережі моделі. На рисунку 10.3 наведена ділянка з місцями зміни маршрутів руху (маршрути виділені різними кольорами). Також створено елемент, що відображає роботу пункту пересадки.

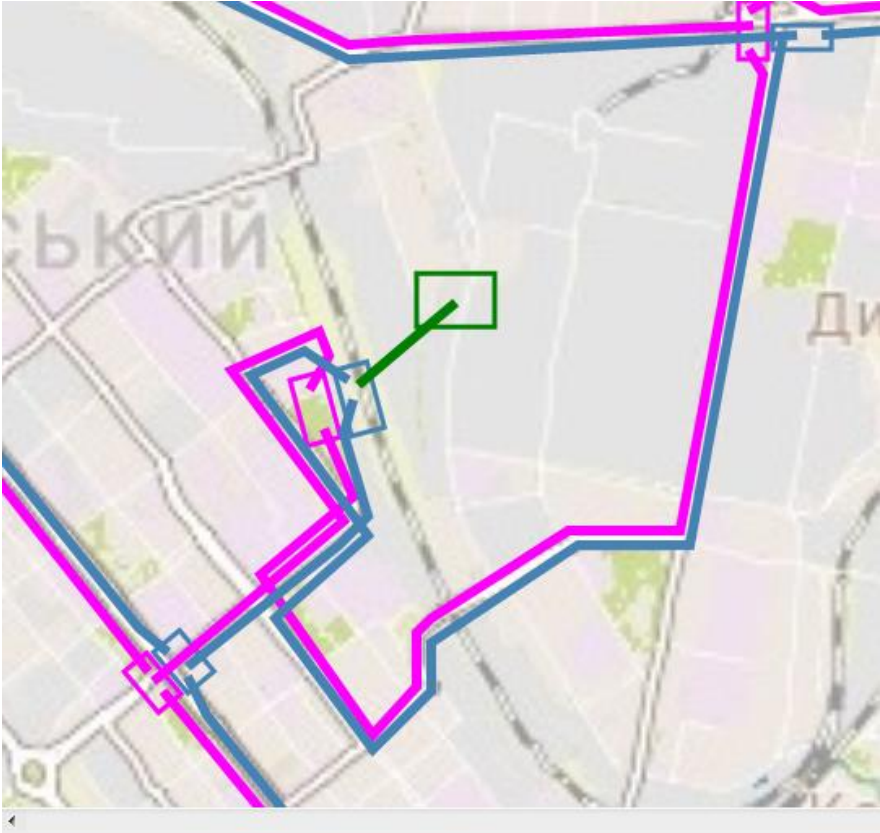


Рисунок 10.3 – Місця переходу на різні варіанти маршруту руху з пунктом пересадки на залізничний транспорт

Заявки в моделі викликаються за допомогою елемента типу «подія». Даний елемент генерує замовлення на перевезення згідно графіку, що задається елементом «таблична функція». Коректна робота функції забезпечується за допомогою введення додаткових змінних. На рисунку 10.4 наведена логіка блоку моделі руху автобусів з аеропорту до кінцевої зупинки «Південний» з урахуванням можливості «перемикання» маршруту.

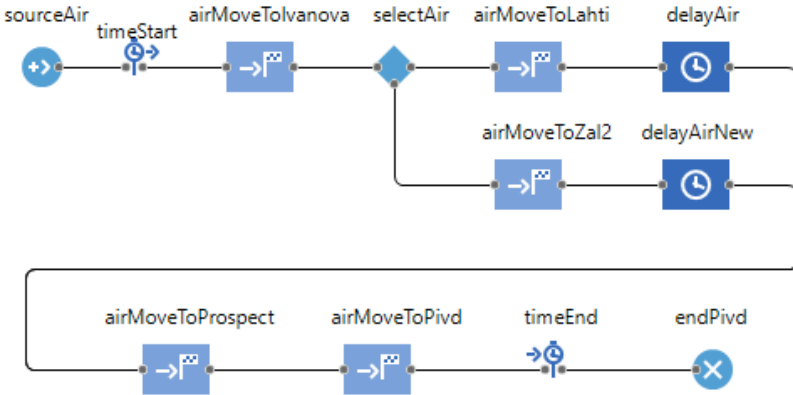


Рисунок 10.4 – Блок моделювання вибору маршруту руху

Створення заявок відбувається в об'єкті «*sourceAir*», управління яким здійснює елемент події «*eventAir*». Рух заявок за маршрутом реалізується за допомогою елементів типу «*moveTo*». Вибір маршруту руху автобусу відбувається в об'єкті «*selectAir*». Цей елемент направляє потік замовлень в один зі своїх виходів в залежності від значення змінної «*Marshrut*», що задається дослідником. Елементи типу «*delay*» імітують затримку замовлень відповідно до реальних умов руху транспортних засобів через затори. Об'єкти «*timeStart*» «*timeEnd*» фіксують моменти часу входу та виходу заявки з моделі, що дозволяє відстежувати статистику результатів моделювання. Аналогічно було створено блок моделі, що відображає рух автобусів у зворотному напрямку.

Імітація роботи пункту пересадки пасажирів на станції Запоріжжя-2 із залізничного транспорту на автомобільний виконана окремим блоком. Зв'язки блоків моделі, що взаємодіють між собою в процесі запуску, реалізовано через елементи *delayPivdNew*, *sourceZal_u_Air* та *stop_pislya_prib_Zal* (рис. 10.5). В елементі *delayPivdNew* основного блоку за допомогою методу *inject* здійснюється виклик нового замовлення в елементі *sourceZal_u_Air*. Одразу після створення замовлення розблоковується рух заявок у ланцюгу (елемент *stop_pislya_prib_Zal*), що імітує переміщення пасажирів, які очікували автобус до аеропорту.

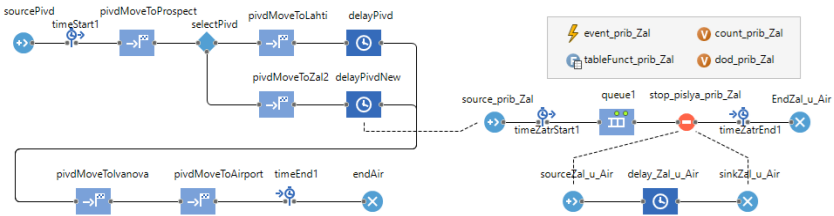


Рисунок 10.5 – Блок моделювання пересадки пасажирів із залізничного на автомобільний транспорт

Після виходу замовлень через елемент *sinkZal_u_Air*, блокування відновлюється, таким чином імітуючи затримку пасажирів з моменту їх прибуття на залізничний вокзал в очікуванні автобусу до аеропорту.

Створення замовлень в системі здійснюється елементом типу «подія» *event_prib_Zal*. Період виклику замовлення визначається табличною функцією *tableFunct_prib_Zal* згідно з графіком прибуття поїздів. У функції задано змінні *dod_prib_Zal*, що використовується для переходу на нову добу та *count_prib_Zal*, яка визначає наступне значення функції. Аналогічним чином доопрацьовано блок моделі, що імітує рух автобусів з аеропорту до залізничної станції Запоріжжя-2 з пересадкою на приміські поїзди (рис.10.6).

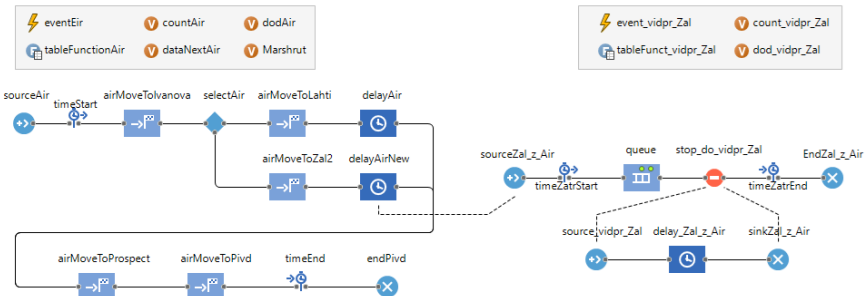


Рисунок 10.6 – Блок імітації руху пасажирів з аеропорту за автобусним маршрутом до залізничної станції Запоріжжя-2

Відмінність логіки полягає у тому, що у зворотному русі пасажери затримуються не в очікуванні автобуса, а навпаки – в очікуванні поїзду.

На створеній моделі було проведено ряд експериментів в умовах варіювання часу затримки автобуса на станції Запоріжжя-2 в очікуванні пересадки пасажирів з поїздів, що надійшли на станцію. Тривалість моделювання встановлено на один календарний місяць. Одиниці модельного часу – хвилини. Збір даних щодо результатів роботи моделі реалізовано за допомогою елементів «гістограма» та «дані гістограми».

На рисунку 10.7 наведені результати роботи моделі в існуючих умовах, без додаткової затримки автобуса.

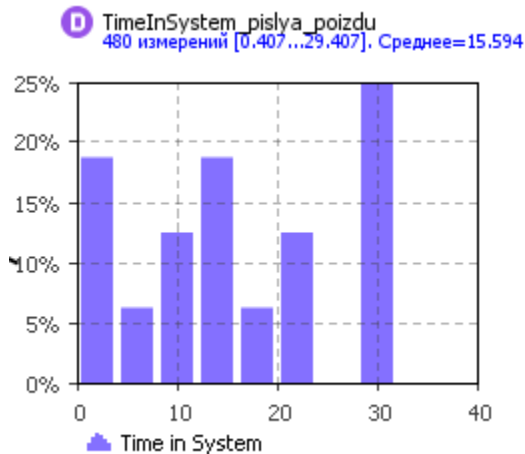


Рисунок 10.7 – Розподіл щільності ймовірності часу очікування автобуса пасажирами на зупинці біля станції Запоріжжя-2 без додаткової затримки

Затримка автобуса на 1 хвилину не мала особливого впливу на ситуацію, тому далі цей варіант не розглядається. При встановленні додаткового часу затримки автобуса на 2, 3 та 4 хвилини отримані гістограми розподілу суттєво не відрізнялися одна від одної. За умови такої тривалості затримки спостерігається зменшення часу очікування пасажирами автобуса в середньому на 3 хвилини. Результати

порівняння отриманих розподілів випадкової величини із вихідною гістограмою наведені на рис. 10.8.

Очевидно, що ймовірність очікування пасажирями в межах 30 хв. значно знизилася (різницю показано білим кольором), у той час як кількість пасажирів, що майже не очікуватиме автобус зростає (темно-синій колір).

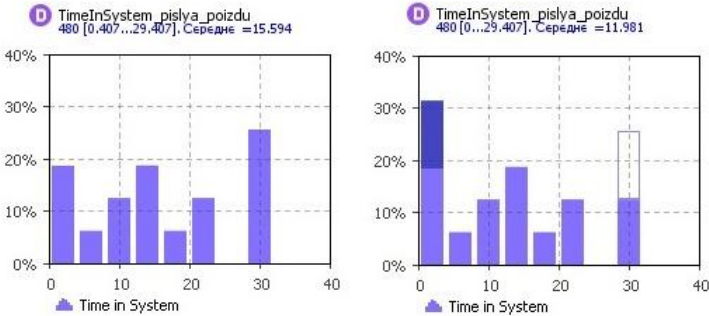


Рисунок 10.8 – Розподіл щільності ймовірності при додатковій затримці автобусу від 2 до 4 хвилин

При додатковій затримці автобусу на 5 хвилин спостерігаються незначні зміни в розподілу відносно попередньої гістограми (рис. 10.9). Середній час очікування пасажирями транспорту складатиме близько 10 хвилин.

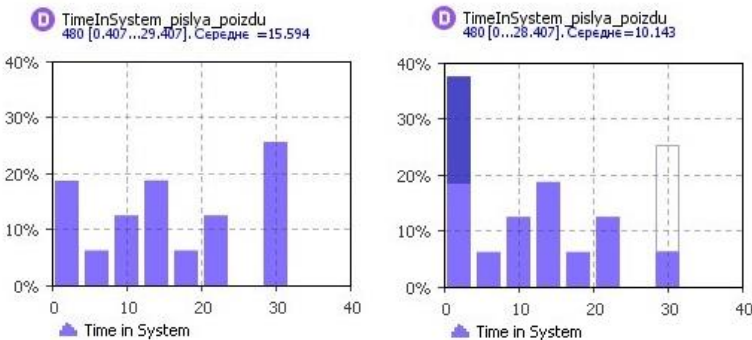


Рисунок 10.9 – Розподіл щільності ймовірності при додатковій затримці автобусу 5 хвилин

Таким чином, можна зробити висновок щодо доцільності затримки автобусу тривалістю 2 хвилини. Це забезпечить пересадку до нього більшої кількості пасажирів та не матиме суттєвого впливу на тривалість обороту автобуса.

Підсумки. Розроблено імітаційну модель взаємодії повітряного, автомобільного та залізничного транспорту. На основі проведених експериментів запропоновано змінити один з автобусних маршрутів таким чином, щоб пасажири мали можливість скористатись зручною можливістю пересадки на приміські поїзди на станції Запоріжжя-2. Протяжність маршруту скорочується на 0,1 км, автобус уникає найбільш проблемних ділянок з насиченим потоком руху транспортних засобів, особливо – у час пік. Завдяки цьому з'являється можливість збільшення часу затримки автобусу в очікуванні пасажирів на зупинці біля станції Запоріжжя-2 при русі до аеропорту, що сприяє наповнюваності автобусу. Середню тривалість очікування автобусу при пересадці з залізничного транспорту скорочено з 14 до 12 хвилин. При цьому відсоток пасажирів, які будуть очікувати автобус до 5 хвилин збільшено з 18% до 32%, а відсоток тих, хто очікує до 30 хвилин, навпаки, зменшено з 25% до 13%.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лашених О. А., Кузькін О. Ф., Грицай С. В. Імовірнісні і статистико-експериментальні методи аналізу транспортних систем: навч. посібник.– Запоріжжя, ЗНТУ, 2011.– 419 с.

2. Турпак С. М. Логістичні системи управління залізничним транспортом металургійних підприємств : монографія. Херсон: Грінь Д. С., 2015. 264 с.

3. Б.П. Середя, С.М. Турпак, І.В. Кругляк, О.О. Острогляд, Д.Я. Муковська, Д.Б. Середя, Д.О. Кругляк. Підвищення експлуатаційної стійкості та ефективності роботи промислового транспорту в умовах металургійного підприємства: монографія. Кам'янське : ДДТУ, 2021. 272 с.

4. Турпак, С.М. Формування комплексного підходу до досліджень впливу транспортно-промислових процесів на сіті-логістичні системи / Турпак С.М., Кузькін О.Ф., Трушевський В.Е., Острогляд О.О. // Вісник машинобудування та транспорту. №2(18). 2023. С. 168-174. doi: 10.31649/2413-4503-2023-18-2-168-174.

Додаток А

Результати моделювання процесів вивантаження та очищення вагонів

Таблиця А.1 – Результати моделювання процесів вивантаження та очищення вагонів

Кількість вантажників, чол.			Час простою вагонів до вивантаження, хв.
Вугільна	Шихта	Шихтовий двір	
9	1	1	637
8	1	2	620
7	1	3	633
6	1	4	606
5	1	5	609
4	1	6	634
3	1	7	621
2	1	8	607
1	1	9	608
8	2	1	574
7	2	2	551
6	2	3	557
5	2	4	563
4	2	5	559
3	2	6	565
2	2	7	563

Продовження таблиці А.1

Кількість вантажників, чол.			Час простою вагонів до вивантаження, хв.
Вугільна	Шихта	Шихтовий двір	
1	2	8	547
7	3	1	553
6	3	2	553
5	3	3	555
4	3	4	552
3	3	5	561
2	3	6	544
1	3	7	554
6	4	1	562
4	4	3	558
3	4	4	539
2	4	5	549
1	4	6	552
5	5	1	552
4	5	2	544
3	5	3	539
2	5	4	544
1	5	5	542

Продовження таблиці А.1

Кількість вантажників, чол.			Час простою вагонів до вивантаження, хв.
Вугільна	Шихта	Шихтовий двір	
4	6	1	552
3	6	2	549
2	6	3	562
1	6	4	548
3	7	1	550
2	7	2	544
1	7	3	552
2	8	1	567
1	8	2	549
1	9	1	552