

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра залізничних станцій та вузлів

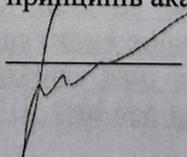
УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗПОДІЛУ ВАГОНОПОТОКІВ У ПРИПОРТОВИХ
ЗАЛІЗНИЧНИХ ВУЗЛАХ

Пояснювальна записка та розрахунки

до кваліфікаційної роботи

УРВУП.300.00.00.000 ПЗ

Розробив студент групи 213-МКТ-Д24
спеціальності 275 / 275.02 (роботу
виконано самостійно, відповідно до
принципів академічної доброчесності)


Данііл ГАЙДУК

Керівник: доцент, канд. техн. наук

Ганна ШЕЛЕХАНЬ

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

Ганна БАУЛІНА

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає у себе 15 слайдів презентації, 96 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 19 рисунків, 14 таблиць, 28 літературних джерел.

Ключові слова: МІЖНАРОДНІ ВАНТАЖНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ІНФРАСТРУКТУРНІ ЕЛЕМЕНТИ, ПРИПОРТОВІ СТАНЦІЇ, МИТНІ ПРОЦЕДУРИ.

Об'єктом дослідження є процес міжнародних залізничних перевезень вантажів. Предметом дослідження виступає розподіл вагонопотоків з міжнародними вантажами на припортових станціях.

Метою роботи є удосконалення розподілу вагонопотоків у припортових залізничних вузлах шляхом оцінки ефективності використання припортової станційної інфраструктури та врахування випадковості подачі вагонів у морські порти.

Елементами наукової новизни є вирішення задачі з визначення оптимального числа вагонів з міжнародними вантажами, що обслуговуються на різних інфраструктурних елементах припортової станції з урахуванням ймовірнісного характеру складових технологічного процесу.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано сучасний стан міжнародних залізничних перевезень, проведено SWOT-аналіз припортових залізничних вузлів України. Виконано аналіз наукових праць за темою роботи. Сформовано та вирішено оптимізаційну задачу у вигляді математичної моделі роботи припортової станції та порту за критерієм мінімізації загального простою вагонів. Визначено економічний ефект на основі впровадження розроблених заходів на наступні 5 років життєвого циклу проєкту.

ABSTRACT

This qualification work includes 15 presentation slides, 96 sheets of explanatory notes in A4 format, including 19 figures, 14 tables, 28 literary references.

Keywords: INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION, INFRASTRUCTURE ELEMENTS, PORT RAILWAY STATIONS, CUSTOMS PROCEDURES.

The object of the study is the process of international railway freight transportation. The subject of the study is the distribution of railcar flows carrying international cargo at port railway stations.

The purpose of this study is to improve the distribution of railcar flows within port railway hubs by assessing the efficiency of port station infrastructure utilization and accounting for the stochastic nature of railcar arrivals at seaports.

The elements of scientific novelty include solving the problem of determining the optimal number of railcars with international cargo handled at various infrastructure elements of a port railway station, taking into account the probabilistic nature of the components of the technological process.

The qualification work analyzes the current state of international railway transportation and conducts a SWOT analysis of port railway hubs in Ukraine. An analysis of scientific publications related to the research topic is performed. An optimization problem is formulated and solved in the form of a mathematical model of port railway station and port operations based on the criterion of minimizing the total dwell time of railcars. The economic effect of implementing the proposed measures is determined for the next five years of the project life cycle.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет управління процесами перевезень

Кафедра залізничних станцій та вузлів

Освітній рівень: магістр

Спеціальність 275 Транспортні технології

275.02 Транспортні технології (на залізничному транспорті)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, доктор техн. наук

О. М. Огар

«24» жовтня 2026 р.

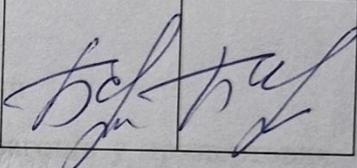
**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Гайдуку Даніілу Романовичу

1. Тема проекту «Удосконалення розподілу вагонопотоків у припортових залізничних вузлах», керівник Шелехань Ганна Ігорівна, канд. техн. наук, доцент, затверджено розпорядженням факультету УПП від «24» жовтня 2025 р. № 19/25.
2. Строк подання студентом закінченої роботи – «11» січня 2026 року.
3. Вихідні дані до проекту (роботи): статистичний матеріал, зібраний під час проходження практики; техніко-експлуатаційна характеристика припортового вузла та залізничної станції О, докладна схема станції, структура вагонопотоку, що надходить на станцію, хронометражні дані спостережень за основними технологічними операціями на станції О; дані про виконання митних операцій з вантажами.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз методів удосконалення міжнародних вантажоперевезень. Техніко-експлуатаційна характеристика роботи станції. Статистичні дослідження технологічних параметрів вагонопотоків. Заходи з підвищення ефективності вантажоперевезень за участю залізниці. Удосконалення митних процедур з вантажами. Техніко-економічне обґрунтування заходів з удосконалення міжнародних вантажоперевезень.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): об'єкт, предмет, задачі дослідження; мета роботи; аналіз стану мультимодальних вантажоперевезень; схема станції О; статистичний аналіз

показників роботи станції О; математична постановка оптимізаційної задачі; результати проведеного моделювання (2 арк.); графічна інтерпретація результатів оптимізації; заходи з удосконалення митних процедур з вантажами; визначення економічного ефекту; висновки. Загалом 11 аркушів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Визначення економічного ефекту від заходів з удосконалення розподілу вагонопотоків	Євгеній БАЛАКА, канд. екон. наук, доцент		

7. Дата видачі завдання «26» жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
Вступ	30. 10. 2025 р.	
Аналіз сучасного стану та методів підвищення ефективності обробки вагонів у припортових вузлах	10. 11. 2025 р.	
Статистичні дослідження технологічних параметрів вагонопотоків	22. 11. 2025 р.	
Розробка та реалізація оптимізаційної моделі	09.12.2025 р.	
Розробка пропозицій з удосконалення митних процедур	16.12.2025 р.	
Визначення економічного ефекту від заходів з удосконалення розподілу вагонопотоків	23. 12. 2025 р.	
Висновки	04. 01. 2026 р.	
Оформлення роботи	10. 01. 2026 р.	

Здобувач

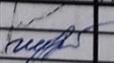
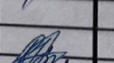
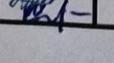
Данііл ГАЙДУК

Керівник

Ганна ШЕЛЕХАНЬ

Зміст

Вступ	6
1 Аналіз сучасного стану міжнародних залізничних вантажоперевезень в Україні	8
1.1 Аналіз експортних перевезень вантажів в Україні	8
1.2 Сучасний стан та роль припортових залізничних вузлів у міжнародних перевезеннях	14
1.3 SWOT-аналіз припортових залізничних вузлів України	21
1.4 Аналіз наукової літератури за тематикою обробки вагонів у припортових вузлах	24
2 Дослідження технологічних показників роботи припортової станції	30
2.1 Техніко-експлуатаційна характеристика припортової станції	35
2.2 Статистичний аналіз технологічних показників роботи припортової станції	37
2.3 Розробка заходів з удосконалення обробки міжнародних вантажопотоків	44
3 Оптимізація процесу обробки вагонів на припортових станціях в умовах мультимодальних перевезень	47
3.1 Формалізація технологічної взаємодії інфраструктурних елементів припортової станції	47
3.2 Математична постановка і рішення задачі удосконалення обробки вагонопотоків на припортових станціях	60
4 Удосконалення технології митного оформлення вантажів	73
5 Розрахунок економічного ефекту від впровадження заходів з удосконалення розподілу вагонопотоків	78
5.1 Прогнозування обсягів надходження вагонів на станцію	78

					УРВУП.300.00.00.000 ПЗ			
Змін.	Лист	№ Документу	Підпис	Дата	Удосконалення розподілу вагонопотоків у припортових залізничних вузлах	Лім.	Лист	Листів
Розробив		Гайдук					4	96
Керівник		Шелехань						
Н.Контр.		Шаповал						
Зате		Огар						УкрДУЗТ 4

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат при впровадженні заходів	81
5.3 Розрахунок економічного ефекту при застосуванні заходів	83
Висновки	87
Список використаних джерел	89
Додаток А Схема припортової станції	92
Додаток Б Програма реалізації оптимізаційної моделі	93

					УРВУП.300.00.00.000 ПЗ	Лист
						5
Зм.	Лист	№ Документу	Підпис	Дата		

Вступ

Експортні перевезення вантажів відіграють ключову роль у функціонуванні економіки України, оскільки від стабільності логістичних потоків залежить конкурентоспроможність української продукції на світових ринках. Залізничний та морський транспорт відіграють ключову роль у забезпеченні ефективного експорту вантажів з України, особливо для великих обсягів і масових вантажів.

Актуальність теми розподілу вагонів у припортових залізничних вузлах обумовлена зростанням вантажних потоків та необхідністю ефективної взаємодії між залізничним та морським транспортом. Оптимальна організація руху та сортування вагонів дозволяє скоротити час обробки, підвищити пропускну спроможність вузлів, зменшити витрати на логістику. Крім того, у сучасних умовах цифровізації та автоматизації транспортних процесів розподіл вагонів стає ключовим фактором підвищення надійності та безпеки перевезень. Ця проблема особливо актуальна для України, де припортові вузли є критично важливими для експорту та розвитку економіки. Тема роботи також відповідає основним положенням розвитку транспортної галузі згідно Національної транспортної стратегії України до 2023 року [1].

Спільна взаємодія залізниці та морського транспорту забезпечує безперервний і оптимізований ланцюг поставок, скорочує час доставки та підвищує конкурентоспроможність українського експорту на міжнародних ринках.

Метою роботи є удосконалення розподілу вагонопотоків у припортових залізничних вузлах шляхом оцінки ефективності використання припортової станційної інфраструктури та врахування випадковості подачі вагонів у морські порти.

Для реалізації поставленої мети необхідно виконати наступні завдання:

1) проаналізувати сучасний стан і перспективи вантажоперевезень України

через припортові вузли;

2) виконати аналіз сучасних наукових досліджень за темою роботи;

3) провести статистичні дослідження технологічних параметрів обробки вагонопотоків на припортовій станції;

4) розробити та реалізувати оптимізаційну модель мінімізації загального простою вагонів з міжнародними вантажами на припортових станціях;

5) розробити пропозиції з удосконалення митного контролю вантажів;

б) виконати економічну оцінку ефективності запропонованих заходів.

Об'єктом дослідження є процес міжнародних залізничних перевезень вантажів.

Предметом дослідження виступає розподіл вагонопотоків з міжнародними вантажами на припортових станціях.

Елементами наукової новизни є вирішення задачі з визначення оптимального числа вагонів з міжнародними вантажами, що обслуговуються на різних інфраструктурних елементах припортової станції з урахуванням ймовірного характеру складових технологічного процесу.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи опубліковано тези доповіді за результатами участі у 85-ій Студентській науково-технічній конференції УкрДУЗТ, 10-11 грудня 2025 р., м. Харків [2]

Висновки

У даній кваліфікаційній роботі було вирішено задачу удосконалення розподілу вагопотоків у припортових залізничних вузлах шляхом оцінки ефективності використання припортової станційної інфраструктури та врахування випадковості подачі вагонів у морські порти. Результати роботи дозволяють зробити наступні висновки.

Аналіз ролі та динаміки експорту у 2021–2025 роках свідчить, що експортні перевезення залишаються ключовим фактором формування нерівномірності роботи транспортної системи України. Висока концентрація вантажної структури, сезонний характер основних експортних товарів та нестабільність зовнішніх умов обумовлюють необхідність подальшої оптимізації логістичних процесів.

Незважаючи на широке висвітлення питань вантажних залізничних перевезень у науковій літературі, вони все ще потребують додаткових досліджень. Відкритими залишаються питання розробки заходів із удосконалення технології роботи залізничних станцій та їх взаємодії з морськими портами, ефективного використання рухомого складу, інфраструктури, а також комплексної реформи усіх галузей економіки, покращення нормативно-правової бази, приведення її у відповідність до міжнародних норм.

У результаті статистичних досліджень технологічних показників роботи припортової станції з вагопотоками було визначено їх середні значення та міру відхилення, величина яких дає можливість зробити висновок про необхідність удосконалення технології роботи станції з метою більш раціонального використання її наявних потужностей і підвищення ефективності обробки міжнародних вагонів.

Розроблена оптимізаційна модель мінімізації тривалості загального простою вагонів з експортними вантажами на припортовій станції дозволяє розраховувати оптимальне число вагонів, що має обслуговуватися на різних інфраструктурних елементах припортової станції. Модель дозволяє враховувати випадковість подачі

вагонів, оцінювати ефективність використання станційної інфраструктури та прогнозувати середній час простою вагонів з експортними вантажами за різних сценаріїв їх експлуатації.

Виконаний аналіз проведення митних операцій з міжнародними вантажами, що надходять на станцію, покладено в основу розробки пропозицій щодо удосконалення митних процедур на припортовій станції.

Економічна оцінка ефективності заходів з удосконалення міжнародних мультимодальних вантажоперевезень за участю залізничного транспорту проведена з урахуванням прогнозованої оцінки обсягів надходження вагонопотоків. У результаті розрахунків сумарний приріст економічного ефекту на розрахунковий п'ятий рік впровадження заходів склав близько 1,76 млн грн.

Таким чином, задача з удосконалення розподілу вагонопотоків у припортових залізничних вузлах шляхом оцінки ефективності використання припортової станційної інфраструктури та врахування випадковості подачі вагонів у морські порти та носить науково-прикладний характер.

Список використаних джерел

1. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року : схв. Кабінетом Міністрів України від 30 травня 2018 року №430-р (Офіційний вісник України. 2018, № 16 (30.06.2018)).
2. Гайдук Д. Аналіз технології роботи та технічного оснащення припортових вантажних станцій. 85-а Студентська науково-технічна конференція УкрДУЗТ, 10-11 грудня 2025 р., м. Харків. С. 398-400. URL : https://kart.edu.ua/wp-content/uploads/2025/12/tezi-sntk-85_2025.pdf. (дата звернення: 25.12.2025 р.).
3. Вантажообіг портів України у 2024 році досяг рекордного показника 97,2 млн тонн. URL: <https://www.uspa.gov.ua/news/vantazhoobig-portiv-ukrayiny-u-2024-roczy-dosyag-rekordnogo-pokaznyka-972-mln-tonn> (дата звернення: 29.10.2025).
4. Russia increasingly targeting trains as attacks on Ukraine's rail network intensify. URL: <https://www.theguardian.com/world/2025/nov/15/russia-targeting-trains-ukraine-rail-network-attacks?utm>. (дата звернення: 23.11.2025).
5. Банк даних. Діяльність підприємств наземного транспорту. URL: <https://stat.gov.ua/uk/explorer> (дата звернення: 29.10.2025).
6. Вантажні перевезення. URL: <https://odz.gov.ua/cargo/> (дата звернення: 31.10.2025).
7. Афанасьєва О. К. Перспективи інтеграції українських морських портів у міжнародний транспортно-логістичний ринок. Вісник Хмельницького національного університету. 2021. № 5. Том 1. URL: https://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/2021_5_1/pdf/157-161.pdf. (дата звернення: 31.10.2025).
8. Russia attacks Ukrainian railway and port facilities. URL: <https://www.pravda.com.ua/eng/news/2025/10/20/8003518/>. (дата звернення: 03.11.2025).
9. Аблесва І. Ю., Пляцук Л. Д. SWOT-аналіз соціо-економіко-екологічних

систем : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2022. 229 с.

10. Abatello L., Ambrosino D., Asta V., Chiesa C. Novel aspects in port rail shunting problems. *Transportation Research Procedia*. 2025, Volume 86, Pp. 620-629. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2025.04.078>. (дата звернення: 07.11.2025).

11. Коробйова Р. Г., Прокопа О. І. Аналіз впливу методів розподілу вагонопотоків на залізничних мережах на величину тарифних відстаней. *Транспортні системи та технології перевезень*, 2025, № 30 С. 20–28. URL: <https://tstt.ust.edu.ua/article/view/340120>. (дата звернення: 08.11.2025).

12. Маліцький В. В., Кибенко А. Ю. Перспективи інноваційного розвитку залізничної транспортної логістики при відбудові України. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2025, № 90. С. 171-180. URL: <https://doi.org/10.18664/btie.90.337312> (дата звернення: 09.11.2025).

13. Chen H, Liu W, Oldache M, Pervez A. Research on Train Loading and Unloading Mode and Scheduling Optimization in Automated Container Terminals. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024; 12(8):1415. <https://doi.org/10.3390/jmse12081415> (дата звернення: 09.11.2025).

14. Рибальченко Л. І. Управління вагонопотоками на міжнародних залізничних маршрутах і шляхи підвищення ефективності. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2024, № 4. С. 97-104. URL : <https://doi.org/10.18664/iksz.v29i4.320428> (дата звернення: 10.11.2025 р.).

15. Вернигора, Р. В., Золотаревська О. О. Аналіз сучасних проблем ефективної взаємодії залізниць та морських портів України. *Транспортні системи і технології перевезень*. Дніпро, 2021. Вип. 21. С. 49–59.

16. Чернова О. О., Вернигора Р. В. Аналіз техніко-технологічних параметрів припортових залізничних станцій України. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2021. № 22. С. 36. URL : <https://doi.org/10.15802/tstt2021/247882> (дата звернення: 10.11.2025 р.).

17. Bessaid A., Bechar H., Fellah M. K. Image analysis and pattern recognition as tools in map interpretation. *Electronic Journal "Technical Acoustics"*. URL:

<http://www.ejta.org>, 2003, 15. (дата звернення: 18.11.2025).

18. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 1986. Vol. PAMI-8, No. 6. P. 679–698.

19. Шарапов О. Д., Дербенцев В. Д., Семьонов Д. Є. Економічна кібернетика: навч. посібник. К.: КНЕУ, 2004. 231 с.

20. Методичні вказівки з визначення норм часу на маневрові роботи, які виконуються на залізничному транспорті : затв. : наказ Укрзалізниці 25.03.03. № 072-ЦЗ. Київ : Транспорт України, 2003. 96 с.

21. Наконечний С. І., Терещенко Т. О. Економетрія. Київ : КНЕУ, 2006. 528 с.

22. Задачін В. М., Конюшенко І. Г. Чисельні методи : навч. посібник. Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. 180 с.

23. Пол Беррі. Head First. Python. Видавництво «Фабула», 2021. 624 с.

24. Митний Кодекс України : Закон України від 13.03.2012 р. № 4495–VI : станом на 21 лип. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17#Text> (дата звернення: 14.12.2025).

25. Про затвердження Порядку надання складським об'єктам статусу «митний склад» та позбавлення такого статусу. Наказ Міністерства фінансів України від 16.07.2012 №835, зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 03.08.2012 за № 1324/21636. Офіційний вісник України, 2012. № 61. С. 135. (20.08.2012).

26. Мочерний С. В., Устенко О. А. Основи економічної теорії: навч. посіб. 3-тє вид., стер. К.: Академія, 2018. 502 с.

27. Економіка України: стратегія і політика довгострокового розвитку / за ред. Гейця В.М. Київ: Фенікс, 2003. 1008 с.

28. Баб'як М. Н., Пешенкова Л. А., Рибчук А. В. Економічна теорія: навч. посіб. К.: Центр навчальної літератури, 2017. 208 с.

Додаток А
Схема припортової станції

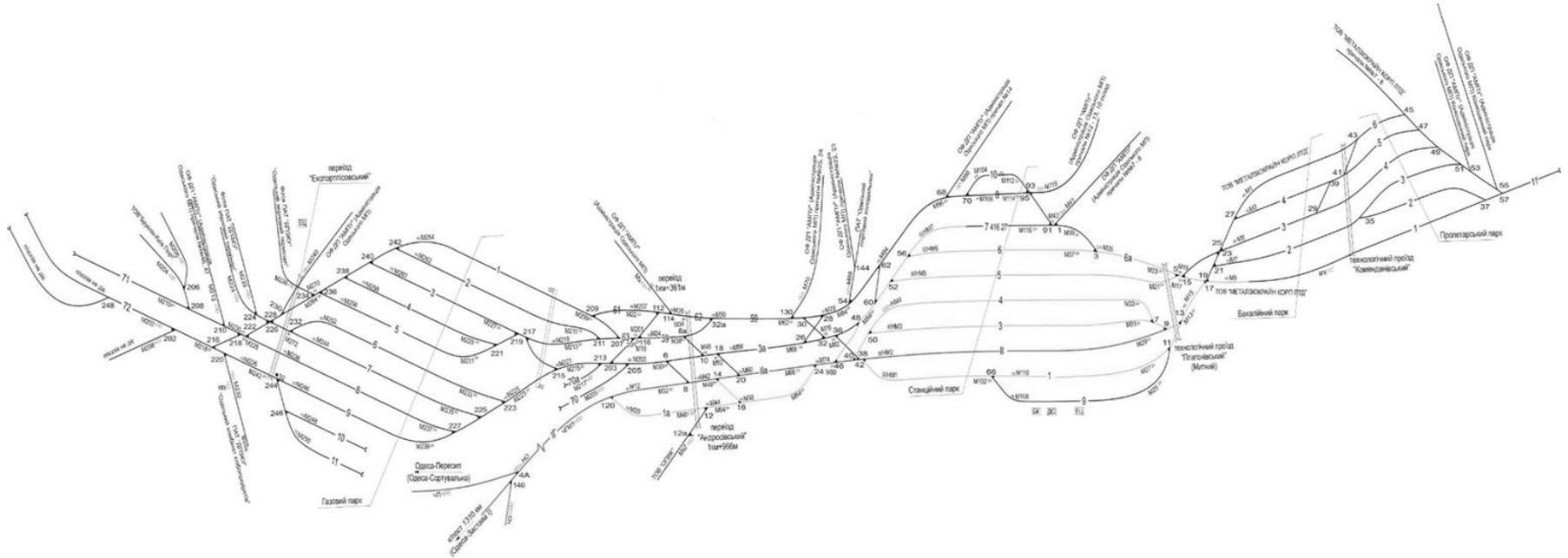


Рисунок А.1 – Схема припортової вантажної станції О

Додаток Б

Програма реалізації оптимізаційної моделі

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Діапазон вагонів
n1 = np.arange(1, 56, 5) # парк приймання
n2 = np.arange(1, 56, 5) # вантажні фронти
N1, N2 = np.meshgrid(n1, n2)

# Стохастична залежність середнього часу простою
T_idle = 10 + 0.02*(N1-25)**2 + 0.03*(N2-30)**2 + np.random.normal(0, 0.3, N1.shape)

# --- Теплова карта ---
plt.figure(figsize=(8,6))
plt.contourf(N1, N2, T_idle, cmap='viridis')
cbar = plt.colorbar(label='Середній час простою, год')
plt.title('Теплова карта середнього часу простою вагонів')
plt.xlabel('Кількість вагонів у парку приймання')
plt.ylabel('Кількість вагонів на вантажних фронтах')
plt.show()

# --- 3D поверхня ---
fig = plt.figure(figsize=(8,6))
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(N1, N2, T_idle, cmap='viridis', edgecolor='none')
ax.set_title('3D поверхня середнього часу простою вагонів')
```

```

ax.set_xlabel('Вагони у парку приймання')
ax.set_ylabel('Вагони на вантажних фронтах')
ax.set_zlabel('Середній час простою, год')
plt.show()

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Параметри
n1 = np.arange(1, 56, 5) # парк приймання
n2 = np.arange(1, 56, 5) # вантажні fronti
N1, N2 = np.meshgrid(n1, n2)

# Стохастична залежність середнього часу простою
T_idle = 10 + 0.02*(N1-25)**2 + 0.03*(N2-30)**2 + np.random.normal(0, 0.3, N1.shape)

# --- Теплова карта ---
plt.figure(figsize=(8,6))
contour = plt.contourf(N1, N2, T_idle, levels=20, cmap='viridis')
cbar = plt.colorbar(contour, label='Середній час простою, год')
plt.title('Теплова карта середнього часу простою вагонів')
plt.xlabel('Кількість вагонів у парку приймання')
plt.ylabel('Кількість вагонів на вантажних фронтах')
plt.tight_layout()
plt.show()

# --- 3D поверхня ---
fig = plt.figure(figsize=(8,6))

```

```

ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
ax.plot_surface(N1, N2, T_idle, cmap='viridis', edgecolor='none')
ax.set_title('3D поверхня середнього часу простою вагонів')
ax.set_xlabel('Вагони у парку приймання')
ax.set_ylabel('Вагони на вантажних фронтах')
ax.set_zlabel('Середній час простою, год')
plt.tight_layout()
plt.show()

import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D

# Матриця значень T_idle
Z = np.zeros_like(N1, dtype=float)
for i, x in enumerate(N1_unique):
    for j, y in enumerate(N2_unique):
        subset = data[(data['n_park'] == x) & (data['n_front'] == y)]
        if not subset.empty:
            Z[j, i] = subset['T_idle'].mean() # середнє по стохастичних реалізаціях

# --- Теплова карта ---
plt.figure(figsize=(8,6))
contour = plt.contourf(N1, N2, Z, levels=20, cmap='viridis')
cbar = plt.colorbar(contour, label='Середній час простою, год')
plt.title('Теплова карта середнього часу простою вагонів')
plt.xlabel('Кількість вагонів у парку приймання')
plt.ylabel('Кількість вагонів на вантажних фронтах')
plt.tight_layout()

```

```
plt.show()
```

```
# --- 3D поверхня ---
```

```
fig = plt.figure(figsize=(8,6))
```

```
ax = fig.add_subplot(111, projection='3d')
```

```
ax.plot_surface(N1, N2, Z, cmap='viridis', edgecolor='none')
```

```
ax.set_title('3D поверхня середнього часу простою вагонів')
```

```
ax.set_xlabel('Вагони у парку приймання')
```

```
ax.set_ylabel('Вагони на вантажних фронтах')
```

```
ax.set_zlabel('Середній час простою, год')
```

```
plt.tight_layout()
```

```
plt.show()
```