

УДК 656.07

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИКОРИСТАННЯ РУХОМОГО СКЛАДУ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМАХ ЧЕРЕЗ ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНО- РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

І.Ю. Клименко¹, К.С. Горчинська²¹к.т.н., доцент кафедри управління на транспорті, e-mail: klymenko.i.yu@nmu.one²здобувач групи 275-23зск-1, e-mail: horchynska.k.s@nmu.one^{1,2}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі досліджено проблему підвищення ефективності функціонування транспортно-логістичних систем шляхом оптимізації взаємодії рухомого складу та навантажувально-розвантажувальних механізмів. Навантажувально-розвантажувальні процеси розглянуто як складову багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням. Запропоновано економіко-математичну модель, що дозволяє визначити раціональну кількість приймальних каналів на основі критерію мінімізації сукупних витрат простою транспортних засобів і технічних засобів обслуговування. Проведено моделювальні експерименти для різних сценаріїв інтенсивності прибуття автомобілів і обсягів вантажних партій. Отримані результати можуть бути використані для оперативного управління транспортно-навантажувальними комплексами.

Ключові слова: транспортно-логістична система, система масового обслуговування, навантажувально-розвантажувальні процеси, математичне моделювання, оптимізація витрат.

OPTIMIZATION OF ROLLING STOCK UTILIZATION IN TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS BASED ON ECONOMIC AND MATHEMATICAL MODELING OF LOADING AND UNLOADING PROCESSES

Iryna Klymenko¹, Karyna Horchynska²¹Ph.D., Associate Professor at the Department of Transport Management, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: klymenko.i.yu@nmu.one²Student of group 275-23zsk-1, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: horchynska.k.s@nmu.one

Abstract. The paper investigates the problem of improving the efficiency of transport and logistics systems through the optimization of interactions between rolling stock and loading and unloading mechanisms. Loading and unloading processes are considered as a component of a multichannel queuing system with waiting. An economic and mathematical model is proposed that allows determining the rational number of service channels based on the criterion of minimizing the total costs associated with the idle time of vehicles and material han-

dling equipment. Simulation experiments were carried out for various scenarios of vehicle arrival intensity and cargo batch volumes. The obtained results can be used for the operational management of transport and cargo handling complexes.

Keywords: transport and logistics system, queuing system, loading and unloading processes, mathematical modeling, cost optimization.

Вступ. У сучасних умовах розвитку транспортно-логістичних систем особливої актуальності набуває проблема підвищення ефективності використання рухомого складу та скорочення логістичних витрат. Значну частку у структурі собівартості перевезень становлять витрати, пов'язані з простоем транспортних засобів під час навантажувально-розвантажувальних операцій. Неefективна організація роботи вантажних пунктів і терміналів призводить до збільшення тривалості технологічних циклів, зниження продуктивності автомобільного транспорту та втрати конкурентоспроможності продукції.

Операції з обробки вантажів формують складну багаторівневу логістичну систему, результативність якої визначається узгодженістю функціонування транспортних засобів, навантажувально-розвантажувальних механізмів та систем управління. За цих умов зростає роль системного підходу та використання економіко-математичних методів, зокрема апарату теорії масового обслуговування, для обґрунтування раціональних управлінських рішень.

Метою роботи є розроблення та апробація економіко-математичної моделі транспортно-навантажувального комплексу, яка дозволяє визначити оптимальну кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів на основі мінімізації сумарних витрат, пов'язаних із простоем рухомого складу та експлуатацією засобів механізації.

Матеріал і результат досліджень. Транспортно-навантажувальний комплекс у межах дослідження розглядається як багатоканальна однофазна система масового обслуговування з очікуванням [1]. Вхідний потік заявок формується транспортними засобами, що прибувають на навантаження або розвантаження, і апроксимується найпростішим пуассонівським потоком. Каналами обслуговування виступають однорідні навантажувально-розвантажувальні механізми, а вихідний потік – оброблені транспортні засоби [2].

Недостатня кількість каналів обслуговування зумовлює утворення черг, унаслідок чого зростає тривалість простою рухомого складу та пов'язані з ним витрати. Водночас надмірне залучення навантажувально-розвантажувальних механізмів також є економічно необґрунтованим, оскільки призводить до збільшення витрат на їх утримання й амортизацію [3]. Таким чином,

актуальним є завдання визначення раціонального співвідношення між кількістю каналів обслуговування та параметрами вхідного потоку.

Для коректного відображення реального навантаження системи як базовий параметр використано кількість вантажних одиниць, завантажених у кузов автомобіля. У якості вантажної одиниці прийнято укрупнений вантажний модуль на стандартному європіддоні, що дозволяє уніфікувати опис процесу незалежно від технічних характеристик транспортних засобів.

З цією метою було сформовано математичну модель, яка описує сукупні витрати, зумовлені простим транспортних засобів у процесі обслуговування. Запропонована модель є формалізованим відображенням реальної системи та дає змогу аналізувати її поведінку за різних вихідних умов, прогнозувати ефективність функціонування й обґрунтувати оптимальні режими роботи.

Сукупні витрати транспортно-навантажувального комплексу подано у вигляді цільової функції, що включає витрати, пов'язані з простим вантажних автомобілів, та витрати на експлуатацію і простій навантажувально-розвантажувальних механізмів.

$$Z_{\text{сум}} = Z_a + Z_{\text{нрм}} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де Z_a – витрати на простій вантажних автомобілів;

$Z_{\text{нрм}}$ – витрати на резерв НРМ.

$$Z_a = D_p \cdot T_{\text{нр}}(N) \cdot A \cdot C_a, \quad (2)$$

де D_p – кількість робочих днів за рік;

$T_{\text{нр}}(N)$ – час очікування завантаження автомобілем;

A – кількість автомобілів;

C_a – вартість однієї години простою автомобіля.

$$Z_{\text{нрм}} = t_{\text{зм}} \cdot D_p \cdot \left(N - \frac{N \cdot \lambda}{\mu} \right) \cdot C_{\text{нрм}}, \quad (3)$$

де $t_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год;

N – кількість НРМ;

λ – інтенсивність прибуття вантажних автомобілів на навантаження;

μ – інтенсивність потоку обслуговування;

$C_{\text{нрм}}$ – вартість однієї години простою НРМ.

Для визначення середнього часу очікування обслуговування та середньої довжини черги застосовано формалізовані залежності теорії масового обслуговування, що дозволяє кількісно оцінити вплив інтенсивності прибуття транспортних засобів і кількості каналів обслуговування на ефективність системи.

Моделювання виконано в програмному середовищі MathCAD із використанням реалістичних значень параметрів перевізного процесу. Досліджено декілька сценаріїв інтенсивності прибуття транспортних засобів (10, 20 та 30 автомобілів за зміну) та варіанти завантаження транспортних засобів 4, 14 і 33 вантажними одиницями.

На рисунках 1–3 подано графіки розподілу витрат залежно від кількості НРМ та кількості вантажних модулів, що підлягають завантаженню, отримані за допомогою створеної моделі в середовищі MathCAD.

Результати експериментальних досліджень показали, що існує певне поєднання кількості транспортних засобів і навантажувально-розвантажувальних механізмів, при якому забезпечується раціональний режим функціонування комплексу, а рівень сукупних витрат є мінімальним.

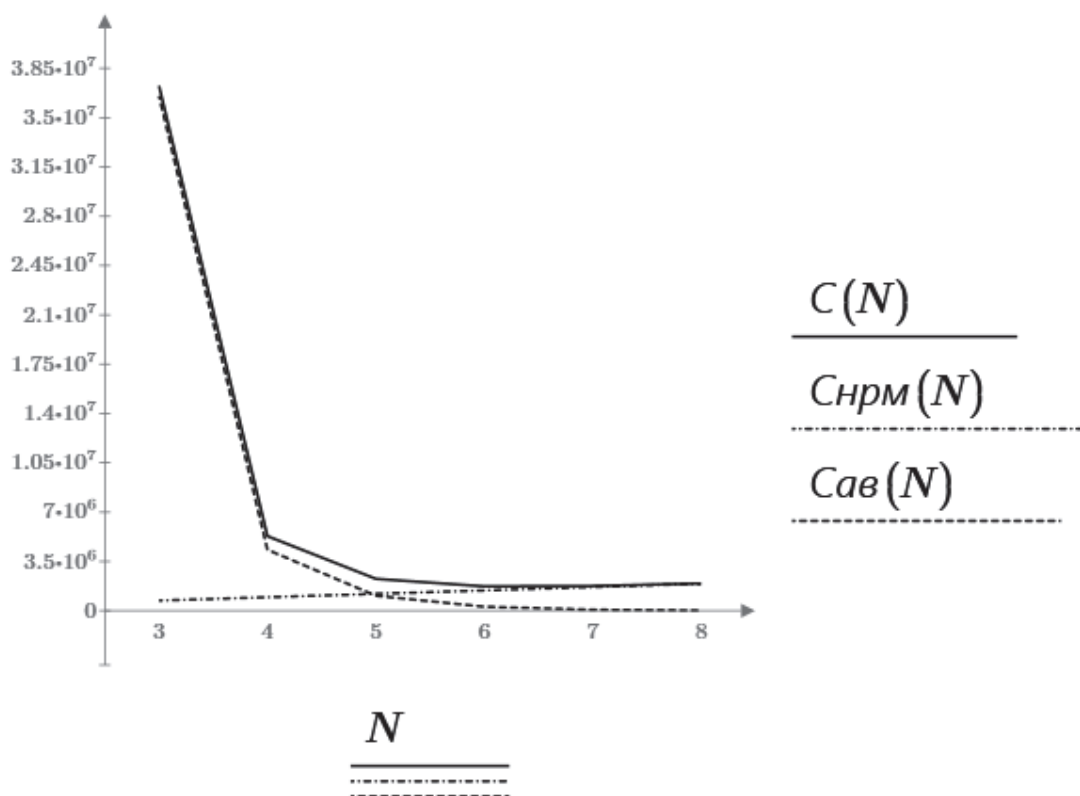


Рис. 1. – Графік розподілу витрат за простої при завантаженні 33 вантажних одиниць для 10 автомобілів

Упродовж робочої зміни інтенсивність надходження заявок на обслуговування може істотно змінюватися під дією різноманітних факторів, серед яких сезонні коливання, обсяги відвантаження готової продукції та специфіка виробничого процесу.

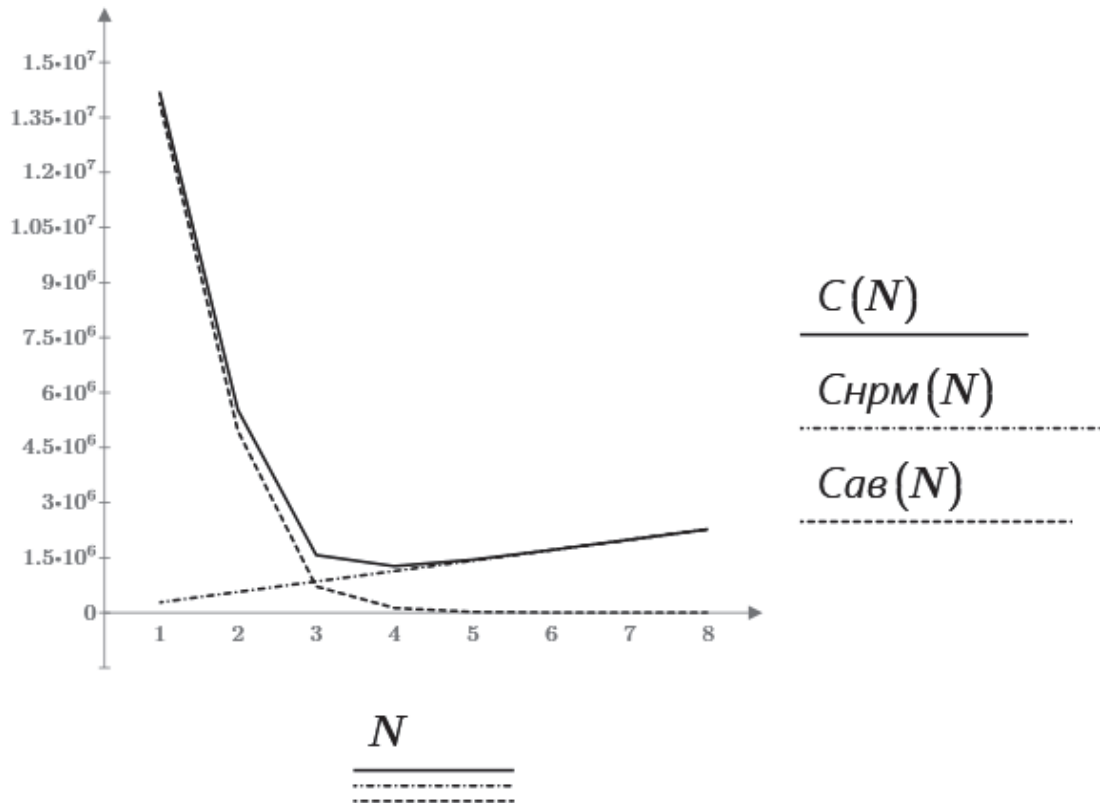


Рис. 2. – Графік розподілу витрат за простої при завантаженні 14 модулів для 10 автомобілів

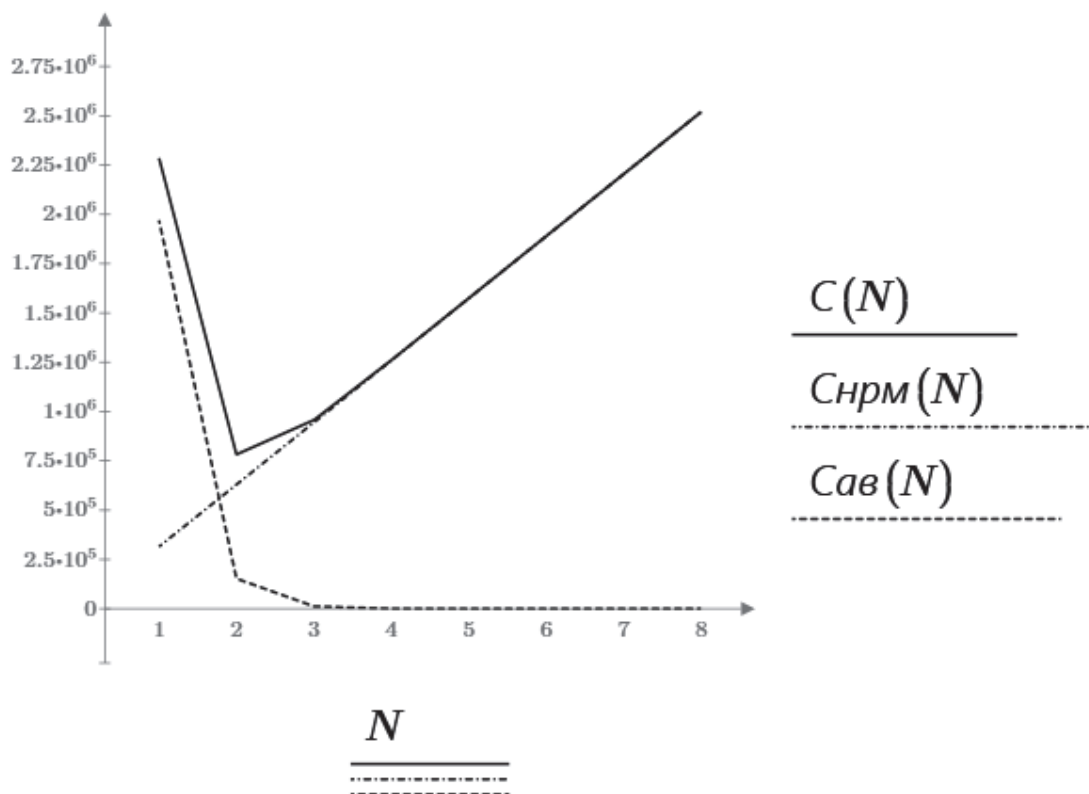


Рис. 3. – Графік розподілу витрат за простої при завантаженні 4 вантажних одиниць для 10 автомобілів

На основі отриманих аналітичних даних усі заявки, що надходять до системи протягом зміни, умовно згруповано за рівнем інтенсивності та виділено три типові сценарії: 10, 20 і 30 транспортних засобів на добу. Зазначені значення прийнято як вихідні для подальших розрахунків.

Із урахуванням обраних сценаріїв виконано серію моделювальних досліджень, результати яких подано у вигляді графічних залежностей, що демонструють вплив кількості обслуговуваних вимог протягом зміни на сумарні витрати, пов'язані з експлуатацією навантажувально-розвантажувальних механізмів і автомобільного транспорту.

На рисунку 4 представлено графічну інтерпретацію функціонування транспортно-навантажувального комплексу за умови обслуговування 10 автотранспортних засобів.

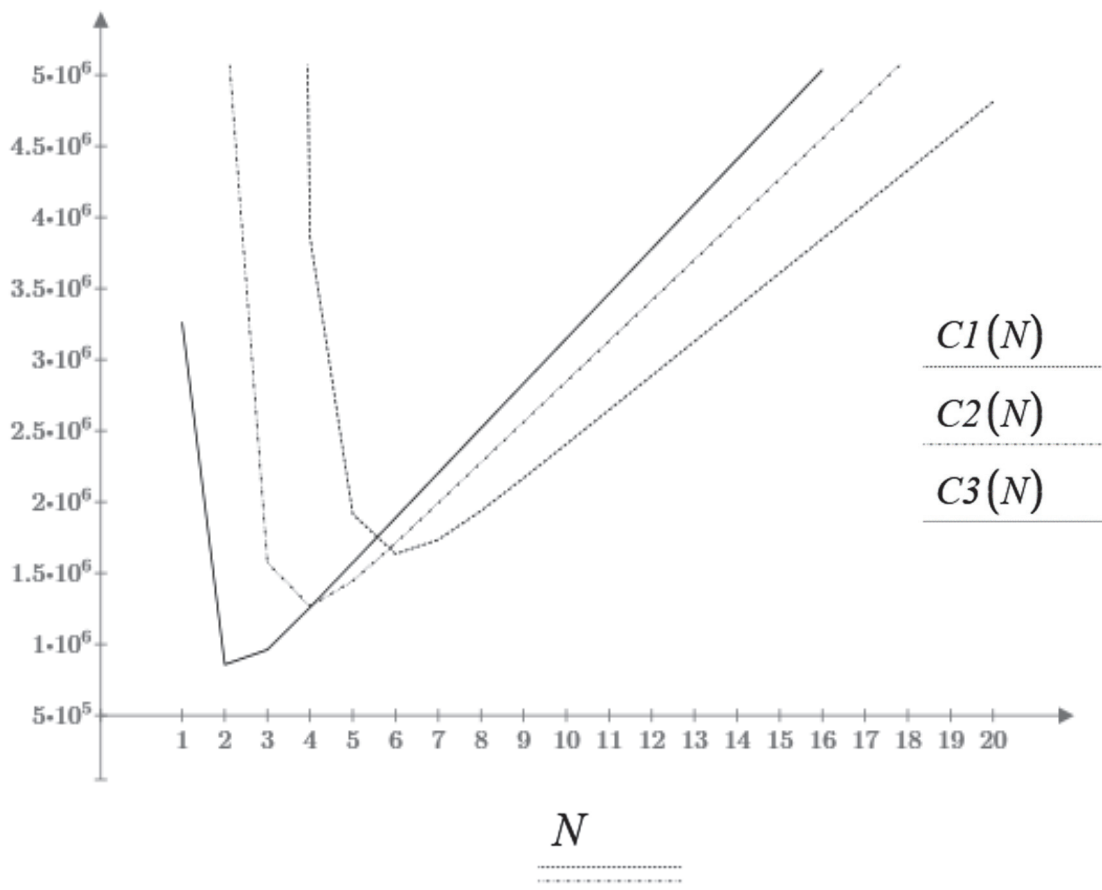


Рис. 4. – Графік зміни витрат при обслуговуванні 10 автомобілів: $C1(N)$ – 33 вантажних одиниці; $C2(N)$ – 14 вантажних одиниць; $C3(N)$ – 4 вантажні одиниці

У випадку завантаження 4 вантажних модулів встановлено, що використання одного приймального каналу зумовлює вищі сумарні витрати порів-

няно з організацією роботи двох каналів обслуговування. Подальше нарощування кількості навантажувально-розвантажувальних механізмів призводить до зростання витрат, що свідчить про доцільність застосування двох механізмів у даному сценарії.

За умов завантаження транспортних засобів 14 вантажними модулями мінімальні значення сукупних витрат забезпечуються при функціонуванні чотирьох каналів обслуговування. Натомість у ситуації, коли на обслуговування надходять 10 автомобілів із завантаженням по 33 вантажні модулі кожний, найменший рівень витрат досягається за умови використання шести навантажувально-розвантажувальних механізмів.

Висновки. У роботі розроблено економіко-математичну модель транспортно-навантажувального комплексу, що базується на положеннях теорії масового обслуговування та дозволяє обґрунтовано визначати оптимальну кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів.

Доведено, що використання кількості вантажних одиниць як базового параметра моделювання забезпечує більш адекватне відображення реального навантаження системи порівняно з традиційними підходами, заснованими лише на вантажопідйомності транспортних засобів.

Результати моделювання підтвердили існування оптимального режиму роботи транспортно-навантажувального комплексу, за якого досягається мінімум сукупних витрат за рахунок збалансування витрат на експлуатацію механізмів і втрат від простою автомобілів.

Запропонована модель може бути використана як інструмент оперативного управління транспортно-логістичними процесами на підприємствах, що здійснюють регулярне або масове відвантаження продукції, а також як основа для подальших досліджень з оптимізації логістичних систем в умовах змінної інтенсивності вантажопотоків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Удосконалення процесу планування перевезення вантажів автомобільним транспортом : монографія / В. Р. Самостян, В. П. Онищук. – Луцьк : ІВВ Луцького НТУ, 2023. – 158 с.
2. Основи системного аналізу об'єктів і процесів комп'ютеризації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/13kolesnycky,rojik,bokocey_osn_syst_anal_objekt-i-proces_komp/p1.html (дата звернення: 19.04.2026).
3. Ларіна І. О. Сучасні підходи до логістики та управління перевезеннями / І. О. Ларіна, В. А. Черновол. – Київ : Університет економіки та права «КРОК», 2021. – 320 с.