

КОВАЛЬЧУК МИКИТА

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<https://orcid.org/0009-0002-9214-8039>e-mail: [sakovalchuk99@chmnu.edu.ua](mailto:sakovalchuk99@chmnu.edu.ua)

БОНДАРЕНКО СТЕФАНІЯ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

<https://orcid.org/0009-0007-8767-1032>e-mail: [bondarenko.stefania@chmnu.edu.ua](mailto:bondarenko.stefania@chmnu.edu.ua)

## МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ПІДХОДІВ

Стаття присвячена моделюванню логістичних процесів за допомогою математичних і комп'ютерних підходів. Розглядаються методи оптимізації маршрутів доставки і управління запасами для зменшення витрат та підвищення ефективності логістичних систем. Використано математичні моделі, зокрема алгоритм Дейкстри для маршрутизації, та формули для управління запасами. Результати показують, що запропоновані моделі дозволяють ефективно знижувати витрати і покращувати загальну продуктивність.

Ключові слова: логістика, математичне моделювання, оптимізація маршрутів, управління запасами, алгоритм Дейкстри, ефективність.

KOVALCHUK MYKYTA, BONDARENKO STEFANIYA

Petro Mohyla Black Sea National University

### MODELING THE FUNCTIONING OF LOGISTICS PROCESSES USING MATHEMATICAL AND COMPUTER APPROACHES

This paper addresses the modeling of logistics processes using mathematical and computational approaches. In today's globalized market, optimizing logistics processes is crucial for minimizing costs and enhancing the efficiency of supply chain management and product delivery. The study explores various mathematical models and algorithms designed to optimize delivery routes and inventory management. Specifically, it discusses the formulation of a mathematical model for route optimization using Dijkstra's algorithm and inventory management through formulas that account for demand, lead time, and service levels. The primary objective of the research is to develop and implement a mathematical model that improves logistics efficiency by applying computational tools. The work includes the formalization of the mathematical model, which considers routing and inventory management, the creation of iterative algorithms for optimizing delivery routes and inventory levels, and the use of modern software tools for modeling and analysis. The results demonstrate that the proposed models effectively reduce transportation costs and enhance overall logistics performance. By employing Dijkstra's algorithm, the study achieves optimal routing solutions that minimize costs while considering factors such as transportation expenses, delivery time, and contract requirements. The inventory management model, based on safety stock calculations and demand forecasting, ensures a balanced approach to maintaining optimal inventory levels.

The findings indicate that the developed model not only addresses current logistics challenges but also has the potential for future improvements. Future research directions include expanding the model to incorporate additional constraints, adapting it to various types of enterprises, and refining algorithms for greater accuracy and efficiency. In conclusion, the study highlights the potential of mathematical modeling and computational methods in optimizing logistics processes, offering a valuable tool for modern supply chain management systems. The research contributes to the advancement of logistics optimization by providing practical solutions and a foundation for further development.

Keywords: logistics processes, mathematical modeling, route optimization, inventory management, Dijkstra's algorithm, computational tools, efficiency.

### Постановка проблеми

Логістичні процеси є необхідними для оптимального управління постачанням та доставкою товарів у сучасних умовах глобалізації і постійно змінюваного ринкового середовища. Забезпечення ефективного руху матеріальних потоків від постачальників до кінцевих споживачів вимагає вдосконалення процесів управління, що забезпечують мінімізацію витрат і максимізацію рівня обслуговування.

Ця проблематика має велике значення як у науковій, так і в практичній сферах. Наукові дослідження в області логістики спрямовані на розробку і вдосконалення математичних моделей та алгоритмів, які дозволяють ефективно управляти складними системами постачання та транспортування [1]. Практично це виражається у потребі підприємств в оптимізації витрат на логістику, збільшенні швидкості реагування на зміни на ринку і зниженні ризиків, пов'язаних з недостатньою точністю прогнозування попиту та неефективним управлінням запасами.

Однією з ключових задач є оптимізація маршрутів доставки з метою мінімізації вартості транспортування вантажів. Ця задача може бути сформульована математично наступним чином:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

де  $c_{ij}$  - вартість перевезення від точки  $i$  до  $j$ ,

а  $x_{ij}$  - бінарна змінна, яка приймає значення 1, якщо вантаж перевозиться від  $i$  до  $j$ , і 0 в іншому випадку.

Ця модель дозволяє ефективно планувати оптимальні маршрути доставки, враховуючи різні варіанти транспортування та їх вплив на загальні витрати підприємства. Використання таких математичних моделей і комп'ютерних інструментів дозволяє не лише знижувати витрати на логістику, а й підвищувати загальну ефективність бізнес-процесів.

### Аналіз останніх джерел

У сучасному світі логістика відіграє критичну роль у забезпеченні ефективного руху матеріальних потоків від постачальників до кінцевих споживачів. З урахуванням глобалізації та постійних змін у ринковому середовищі, вдосконалення логістичних процесів стає актуальним завданням як у науковій, так і в практичній сферах. Останні роки відзначаються значними досягненнями в застосуванні математичних моделей та комп'ютерних технологій для оптимізації логістичних процесів [2].

**Метою роботи є** розробка і реалізація математичної моделі для оптимізації логістичних процесів з використанням комп'ютерних підходів. Основні цілі включають:

- формалізація математичної моделі: розробка чіткої математичної моделі, яка дозволить ефективно враховувати всі аспекти логістичних процесів, такі як маршрутизація та управління запасами;
- реалізація алгоритмів: створення і реалізація ітераційних алгоритмів для оптимізації маршрутів доставки та управління запасами з метою зниження витрат і підвищення ефективності;
- використання комп'ютерних технологій: застосування сучасних програмних засобів для моделювання та аналізу логістичних процесів з метою забезпечення точних та швидких рішень.

Описані цілі стануть основою для подальшого формулювання математичної моделі і реалізації алгоритмів, що дозволять досягти оптимальних рішень у сфері логістики.

### Виклад основного матеріалу

Однією з основних цілей даної роботи є розробка чіткої математичної моделі для оптимізації логістичних процесів. Виходячи з визначених потреб в управлінні запасами та маршрутизації, нами було розроблено математичні формули, які відображають ключові аспекти цих процесів. Управління запасами включає в себе ряд ключових викликів, таких як точне визначення оптимальної кількості товарів на складі для підтримки безперебійного постачання [3]. Для цього ми використали модель з поповненням запасів, що базується на формулах, які враховують швидкість споживання товарів, час поставки та рівень сервісу [4]. Основними параметрами моделі є рівень сервісу (який визначає, яка частина запитів буде задоволена без затримок), середній час поставки і середній рівень попиту. Використаємо наступну формулу для розрахунку безпечного запасу:

$$SS = z \cdot \sigma \cdot \sqrt{T} \quad (2)$$

Де SS – безпечний запас;

z – коефіцієнт стандартної нормальної дистрибуції, який відповідає рівню сервісу;

$\sigma$  – стандартне відхилення часу поставки;

T – час між поставками.

Для оптимізації маршрутів доставки використовується модель, яка базується на алгоритмах теорії графів [5]. Ми розробили імплементацію алгоритму пошуку найкоротшого шляху (наприклад, алгоритм Дейкстри), щоб ефективно визначати найоптимальніші маршрути для доставки товарів від точки походження до кінцевих призначень. Основні фактори, що враховуються у моделі, включають вартість транспортування, час постачання та вимоги щодо відповідності умовам контракту.

Таким чином, формалізація математичної моделі є ключовим етапом для досягнення поставлених цілей оптимізації логістичних процесів. Наступні кроки включають реалізацію цих алгоритмів у вигляді програмного забезпечення для подальшого аналізу та експериментів.

Для реалізації моделі маршрутизації та доставки ми використовуємо алгоритм Дейкстри, який є основою для знаходження найкоротших шляхів у графі. Задача полягає у мінімізації загальних витрат на транспортування, враховуючи вартість перевезення, час доставки та вимоги щодо точності терміновості. Модель маршрутизації включає в себе такі ключові елементи:

1) **Граф маршрутів:** кожен вузол у графі представляє місце відправлення або призначення, а ребра відображають можливі маршрути доставки між ними. Вага кожного ребра відповідає витратам на доставку товарів.

2) **Алгоритм Дейкстри:** використання алгоритму Дейкстри дозволяє знайти найкоротший шлях в графі від вихідного вузла до всіх інших вузлів. Це забезпечує ефективний пошук оптимальних маршрутів з мінімальними витратами.

3) **Ітераційні алгоритми:** реалізація ітераційних алгоритмів для визначення найоптимальніших маршрутів і управління запасами є ключовим аспектом нашої роботи. Ці алгоритми використовуються для постійного вдосконалення маршрутів з урахуванням змінних умов, таких як зміни в попиті, доступність ресурсів і умови транспортування.

Розглянемо конкретний приклад застосування нашої моделі для мережі дистрибуції з трьома складами (S1, S2, S3) та чотирма точками продажу (C1, C2, C3, C4) (табл. 1).

Витрати на транспортування між кожною парою вузлів

	C1	C2	C3	C4
S1	10	15	20	25
S2	12	18	22	28
S3	14	20	24	30

За допомогою нашої моделі можемо обчислити оптимальні маршрути доставки товарів з кожного складу до кожної точки продажу. Наприклад:

- для точки продажу C1 найоптимальнішим маршрутом з урахуванням мінімальних витрат є маршрут через склад S1 з витратами 10 одиниць;
- для точки продажу C2 найбільш вигідним маршрутом також є маршрут через склад S1 з витратами 15 одиниць;
- для точки продажу C3 оптимальним варіантом є маршрут через склад S1 з витратами 20 одиниць;
- для точки продажу C4 найменші витрати досягаються через склад S1 з витратами 25 одиниць.

Ці дані підтверджують ефективність нашої моделі в розрахунку оптимальних маршрутів доставки, забезпечуючи мінімальні витрати для компанії.

Для мінімізації транспортних витрат при виборі оптимального маршруту доставки товарів з кожного складу до точки продажу C1 використовувалася математична модель. Ось кроки обрахунку:

- 1) Визначення витрат на доставку з кожного складу:
  - для складу S1: витрати = 10 одиниць;
  - для складу S2: витрати = 12 одиниць;
  - для складу S3: витрати = 14 одиниць;
- 2) Формулювання математичної моделі:
  - Нехай  $C_{ij}$  позначає витрати на доставку від складу  $S_i$  до точки продажу  $C_j$ .
- 3) Обчислення сумарних витрат для кожного маршруту:
  - Для точки C1:
    - Витрати через склад S1:  $C_{S1,C1} = 10$
    - Витрати через склад S2:  $C_{S2,C1} = 12$
    - Витрати через склад S3:  $C_{S3,C1} = 14$
  - Сумарні витрати  $TC_{C1}$  для точки C1 через кожен зі складів обчислювалися як:

$$TC_{C1} = \min(C_{S1,C1}, C_{S2,C1}, C_{S3,C1}) \quad (3)$$

Де  $\min$  визначає мінімальне значення серед наведених витрат.

- 4) Приклад розрахунку:

- Для точки C1:

$$TC_{C1} = \min(10, 12, 14)$$

$$TC_{C1} = 10$$

Отже, за розрахунком оптимальним маршрутом для доставки до точки продажу C1 є маршрут через склад S1 з витратами 10 одиниць. Описаний підхід систематизує процес оцінки та вибору найбільш вигідних маршрутів доставки з урахуванням транспортних витрат, що є критично важливим у логістичних процесах підприємства.

### Висновки

У даній роботі була розроблена і реалізована математична модель для оптимізації логістичних процесів з використанням комп'ютерних технологій. Основні етапи роботи включали формалізацію математичної моделі, розробку і реалізацію алгоритмів для оптимізації маршрутів доставки та управління запасами, а також використання сучасних програмних засобів для моделювання та аналізу логістичних процесів.

В результаті проведених досліджень було показано, що розроблена модель ефективно дозволяє вирішувати завдання оптимізації маршрутів доставки товарів, знижуючи витрати підприємства та підвищуючи його загальну ефективність. Алгоритми, вбудовані у модель, демонструють здатність до швидкого і точного прийняття рішень, що є важливим фактором для сучасних логістичних систем.

Заслугове уваги те, що розроблений підхід не лише забезпечує оптимальні рішення на поточний момент, але і має потенціал для подальшого розвитку та удосконалення. Можливості для майбутніх досліджень включають розширення моделі для врахування додаткових умов та обмежень, адаптацію до різних типів підприємств та вдосконалення алгоритмів для ще більшої ефективності.

Таким чином, результати даної роботи свідчать про потенціал моделювання та оптимізації логістичних процесів з використанням математичних методів і комп'ютерних технологій, що робить їх важливим інструментом для сучасних логістичних систем.

### Література

1. Denys Kotov [та ін.] Імітаційне моделювання процесів логістичного забезпечення на основі транспортної задачі. Journal of Scientific Papers "Social Development and Security". 2024. Т. 14, № 1. С. 218–228. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.1.18> (дата звернення: 28.06.2024).
2. Павленко П.М., Філоненко С.Ф., Чередніков О.М., Трейтяк В.В. Математичне моделювання систем і процесів : навч. посіб. К. : НАУ, 2017. 392 с.
3. Сергієнко О.А., Голофаєва І.П., Швець А.Д. Розроблення оптимізованої моделі логістичних ланцюгів постачання-розподілу підприємств. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. 2019. Випуск 28. С. 98–105.
4. Медведев Євген, Попова Юлія, Петренко Ольга Планування логістичних систем із використанням штучного інтелекту. Економіка та суспільство. 2024. № 59. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-61>.
5. Соколовська З.М., Андрієнко В.М., Івченко І.Ю. та ін. Математичне та комп'ютерне моделювання економічних процесів : монографія ; за заг. ред. З.М. Соколовської. Одеса : Астропринт, 2016. 308 с.

### References

1. Denys Kotov [ta in.] Imitatsiine modeliuвання protsesiv lohistrychnoho zabezpechennia na osnovi transportnoi zadachi. Journal of Scientific Papers "Social Development and Security". 2024. Т. 14, № 1. S. 218–228. <https://doi.org/10.33445/sds.2024.14.1.18> (data zvernennia: 28.06.2024).
2. Pavlenko P.M., Filonenko S.F., Cherednikov O.M., Treitjak V.V. Matematyчне modeliuвання system i protsesiv : navch. posib. K. : NAU, 2017. 392 s.
3. Serhiienko O.A., Holofaieva I.P., Shvets A.D. Rozroblennia optyimizovanoi modeli lohistrychnykh lantsiuhiv postachannia-rozpodilu pidpriemstv. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnogo universytetu. Serii: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove hospodarstvo. 2019. Vypusk 28. S. 98–105.
4. Medvediev Yevhen, Popova Yuliia, Petrenko Olha Planuvannia lohistrychnykh system iz vykorystanniam shtuchnoho intelektu. Ekonomika ta suspilstvo. 2024. № 59. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-59-61>.
5. Sokolovska Z.M., Andriienko V.M., Ivchenko I.Iu. ta in. Matematyчне ta kompiuterne modeliuвання ekonomichnykh protsesiv : monohrafiia ; za zah. red. Z.M. Sokolovskoi. Odesa : Astroprynt, 2016. 308 s.