

# Імітаційне моделювання процесів логістичного забезпечення на основі транспортної задачі

## Simulation modeling of logistics processes provision based on the transport task

**Денис Котов**<sup>A</sup>

Corresponding author: старший викладач, e-mail: [zyvigel.zt@ukr.net](mailto:zyvigel.zt@ukr.net), ORCID: 0000-0002-6775-5593

**Віктор Клименко**<sup>A</sup>

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, e-mail: [viktorklymenko1971@gmail.com](mailto:viktorklymenko1971@gmail.com), ORCID: 0000-0002-8073-4404

**Олександр Андросчук**<sup>A</sup>

доктор технічних наук, професор, начальник відділу, e-mail: [asa\\_20\\_1968@ukr.net](mailto:asa_20_1968@ukr.net), ORCID: [0000-0002-8786-851X](https://orcid.org/0000-0002-8786-851X)

**Володимир Мельник**<sup>A</sup>

начальник кафедри, e-mail: [mvv.1947j@gmail.com](mailto:mvv.1947j@gmail.com), ORCID: 0000-0002-6153-1628

**Олександр Горошко**<sup>A</sup>

ад'юнкт, e-mail: [goroshko22222@gmail.com](mailto:goroshko22222@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5695-5311

**Борис Азізов**<sup>A</sup>

викладач, e-mail: [azborrus@gmail.com](mailto:azborrus@gmail.com), ORCID: 0009-0003-5251-8151

**Denys Kotov**<sup>A</sup>

Corresponding author: Senior Lecturer, e-mail: [zyvigel.zt@ukr.net](mailto:zyvigel.zt@ukr.net), ORCID: 0000-0002-6775-5593

**Viktor Klymenko**<sup>A</sup>

Candidate of technical sciences, senior researcher, e-mail: [viktorklymenko1971@gmail.com](mailto:viktorklymenko1971@gmail.com), ORCID: 0000-0002-8073-4404

**Oleksandr Androschuk**<sup>A</sup>

Dr. of Technical Sciences, Professor, Head of Department, e-mail: [asa\\_20\\_1968@ukr.net](mailto:asa_20_1968@ukr.net), ORCID: [0000-0002-8786-851X](https://orcid.org/0000-0002-8786-851X)

**Volodymyr Melnyk**<sup>A</sup>

Head of Department, e-mail: [mvv.1947j@gmail.com](mailto:mvv.1947j@gmail.com), ORCID: 0000-0002-6153-1628

**Oleksandr Goroshko**<sup>A</sup>

PhD student, e-mail: [goroshko22222@gmail.com](mailto:goroshko22222@gmail.com), ORCID: 0000-0002-5695-5311

**Boris Azyzov**<sup>A</sup>

Lecturer, e-mail: [azborrus@gmail.com](mailto:azborrus@gmail.com), ORCID: 0009-0003-5251-8151

<sup>A</sup> Військова академія м. Одеса, Україна

<sup>A</sup> Military Academy, Odesa, Ukraine

Received: January 12, 2024 | Revised: February 15, 2024 | Accepted: February 29, 2024

DOI: 10.33445/sds.2024.14.1.18

**Мета роботи:** полягає у дослідженні існуючих моделей надання транспортних послуг та обґрунтування доцільності їх застосування для вирішення завдань транспортної логістики у військовій сфері.

**Метод дослідження:** основним методом дослідження є метод оптимальності застосування моделі транспортної задачі для проведення імітаційного моделювання логістичних процесів.

**Результати дослідження:** в роботі сформовані основні теоретичні аспекти впровадження оптимальності застосування моделі транспортної задачі для проведення імітаційного моделювання логістичних процесів з організацією переміщення, перевезення (транспортування) матеріально-технічних засобів відповідних класів постачання підрозділами Сил Логістики з складів (центрів забезпечення) за визначеними логістичними рівнями між споживачами відповідних груп.

**Теоретична цінність:** основними результатами дослідження за тематикою статті є: удосконалення існуючих моделей надання транспортних послуг шляхом методу оптимальності застосування моделі транспортної задачі для проведення імітаційного моделювання логістичних процесів з перевезення матеріально-технічних засобів підрозділами Сил Логістики.

**Тип статті:** теоретична.

**Ключові слова:** транспортна логістика, імітаційне моделювання, моделі, транспортна задача.

**Purpose:** is to study the existing models of providing transport services and justify the feasibility of their application to solve the tasks of transport logistics in the military sphere.

**Method:** the main method of research is the optimality method of applying the transport problem model for simulation modeling of logistics processes.

**Findings:** the main theoretical aspects of the implementation of the optimality of the application of the model of the transport problem are formed in the work for the simulation modeling of logistics processes from the organization of movement, transportation (transportation) of material and technical means of the corresponding classes of supply by the units of the Logistics Forces from warehouses (supply centers) according to the defined logistics levels between consumers of the corresponding groups.

**Theoretical implications:** the main results of the research on the topic of the article are: improvement of existing models of providing transport services by means of the optimality method of applying the model of the transport problem to carry out simulation modeling of logistics processes for the transportation of material and technical means by the units of the Logistics Forces.

**Paper type:** theoretical.

**Key words:** transport logistics, simulation modeling, models, transport task.

### Вступ

За умов постійного розвитку логістичних підходів та появи принципово нових систем управління, все більшої актуальності набуває пошук шляхів та можливостей підвищення

ефективності забезпечення військ (сил) озброєнням, технікою, боєприпасами, речовим майном, продовольством тощо за рахунок вдосконалення транспортної логістики. Особливо гостро така потреба відчувається під час бойових дій, коли від швидкості та якості транспортування залежить успіх на полі бою. Актуальним дане дослідження робить і те, що у більшості випадків застосовуються старі підходи, зношений автомобільний парк тощо. Для опрацювання підходів щодо надання транспортних послуг Силами логістики важливу роль набуває моделювання. Зокрема, в сфері автомобільних вантажоперевезень, доцільно зважити всі за та проти при прийнятті рішення щодо застосування автотранспортних засобів Сил логістики. Однією з основних задач дослідження процесів транспортної логістики є використання доступних математичних і програмних засобів щодо оптимізації надання якісних транспортних послуг. Це стосується аналізу та планування маршрутів; перевезення озброєння та військової техніки, особового складу та вантажів; навантаження та розвантаження; часу виконання завдань тощо [1]. При прийнятті ефективного управлінського рішення також бажано мати можливість спрогнозувати наслідки цього рішення у найближчий час, а також на майбутнє.

### **Теоретичні основи дослідження**

Відповідно до [2] дослідження та прогнозування поведінки логістичних систем на практиці здійснюється шляхом економіко-математичного моделювання, тобто апроксимація логістичних процесів на основі математичних моделей. Одним із шляхів рішення завдання прогнозування розвитку поведінки досліджуваної логістичної системи є імітаційне моделювання процесів її функціонування. Застосування імітаційного підходу дозволяє враховувати необхідну і достатню кількість факторів, що оптимально (квазіоптимально) описують реальні процеси, що відбуваються в системі військової логістики. Імітаційне моделювання є ефективним способом імітації реальних процесів в системах, де постановка натурного експерименту неможлива, або фінансово нерентабельна чи потребує значних трудовитрат. Тому використання саме імітаційного моделювання як способу дослідження процесів у складних логістичних системах, особливо у військовій сфері, є ефективним інструментом організації наукових досліджень.

У праці [3] викладено результати наукових досліджень щодо моделювання потоку вантажних транспортних засобів, проведено статистично-описовий аналіз соціально-економічної діяльності, аналіз даних автоматизованого моніторингу транспортних засобів та моделювання маршрутів доставки. Проведено оцінювання європейських міських логістичних заходів задля розуміння необхідності планування міської логістики в українських містах.

У праці [4] подано результати досліджень в областях організації дорожнього руху, ергономічного і логістичного забезпечення технологічного процесу в транспортних системах, економічній оцінці ефективності і надійності транспортних і логістичних рішень.

У праці [5] розглянуто наступний комплекс моделей транспортної логістики: математичні моделі логістичної виробничо-транспортної системи (ланцюгу) з підприємницькою діяльністю; математична модель логістичної виробничо-транспортної системи (ланцюгу) в загальній постановці завдання мінімуму витрат; математична двоетапна модель мінімуму витрат за виробничо-транспортними багато продуктовим динамічним завданням в дискретній постановці; математична трьох етапна модель мінімуму витрат за виробничо-транспортним динамічним завданням в дискретній постановці; чотирьох етапна математична модель мінімуму витрат за динамічним завданням в дискретній постановці; п'яти етапна математична модель виробничо-транспортної логістичної системи; математична модель максимуму асортиментного набору продукції за статичним виробничим завданням.

Відповідно до [6, 9] моделі транспортної логістики поділяються на: моделі транспортних систем; моделі попиту на транспортне обслуговування та імітаційні моделі.

Тобто, на даний час відсутні наукові праці, які б повністю розглянули питання щодо класифікації моделей у транспортній логістиці у цілому та у військовій сфері зокрема.

### Постановка проблеми

Дослідження існуючих моделей надання транспортних послуг та обґрунтування доцільності їх застосування для вирішення завдань транспортної логістики у військовій сфері.

Очікуваним результатом імітаційного моделювання процесів логістичного забезпечення на основі транспортної моделі є оптимальність застосування моделі транспортної задачі для проведення імітаційного моделювання логістичних процесів з організації переміщення, перевезення (транспортування) матеріально-технічних засобів (МТЗ).

### Результати

Відповідно до [6] під моделлю розуміють штучний об'єкт, який відображає з певним ступенем точності основні властивості досліджуваного об'єкта-оригіналу. Модель має відмінну форму від її реального об'єкта і служить засобом пояснення механізму функціонування системи і її вдосконалення. При побудові моделі об'єкт (систему) і його (її) властивості спрощують, але чим ближче модель до оригіналу, тим ефективніше його дослідження. До основних функцій моделей можна віднести:

- засіб осмислення дійсності;
- засіб спілкування;
- засіб навчання;
- інструмент прогнозування;
- засіб постановки експериментів.

Види моделювання відповідно до [6] подано на рис.1.

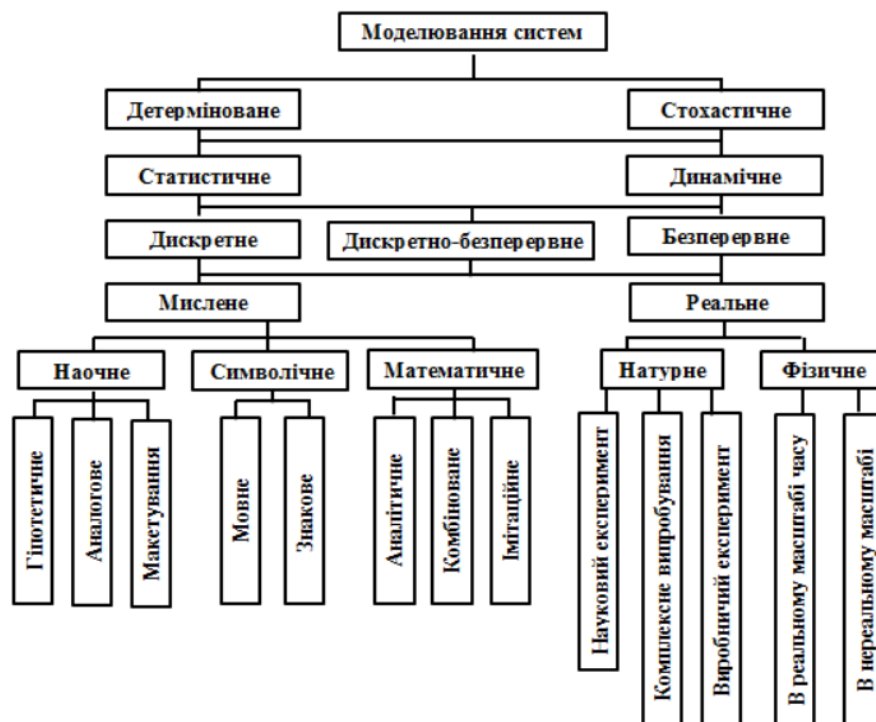


Рисунок 1 – Класифікація видів моделювання

Відповідно до [2] при побудові моделей необхідно дотримуватись наступних вимог:

- поведінка, структура та функції моделі повинні бути адекватні модельованій логістичній системі;

- відхилення параметрів моделі в процесі її функціонування від відповідних параметрів модельованої логістичної моделі не повинні виходити за межі припустимої точності моделювання;

- результати дослідження моделі та її поведінки повинні виявити нові властивості модельованої логістичної системи, які не віддзеркалено в первинних матеріалах, що використовуються для побудови даної моделі;

- модель повинна бути більш зручною, ніж її реальний аналог – логістична система.

Згідно з керівними документами щодо організації та планування логістичного забезпечення у Збройних Силах України (ЗСУ) [7] перед Командуванням Сил Логістики (КСЛ) поставлено ряд завдань, що пов'язані з організацією єдиної системи військової логістики як структурного елементу Єдиної логістичної системи держави та країн-партнерів. КСЛ підпорядкованими йому силами та засобами повинне забезпечити за напрямом діяльності гарантоване виконання ЗСУ завдань з оборони держави та бути спроможними:

- організувати переміщення та перевезення (транспортування) військових частин (підрозділів), озброєння, військової техніки та матеріально-технічних засобів ЗСУ різними видами транспорту;

- забезпечити виконання військових перевезень персоналу і військових вантажів у ході мобілізаційного розгортання ЗСУ та інших військових формувань, утворених відповідно до законодавства України;

- забезпечити виконання військових перевезень у ході стратегічного (оперативного) розгортання угруповань військ (сил), резервів ЗСУ;

- забезпечити перевезення військових частин у ході перегрупування військ (сил), перекидання їх з одного напрямку дій на інший для підсилення угруповань військ (сил) до початку і в ході проведення операцій, а також для заміни військ (сил), направлення до місць (районів) відновлення боєздатності;

- організувати та здійснити військові перевезення МТЗ у ході підготовки та застосування угруповань військ (сил) ЗСУ;

- забезпечити своєчасне перевезення (підвезення) МТЗ для відновлення витрат та втрат у ході ведення операцій (бойових дій);

- забезпечити евакуаційні перевезення несправного (пошкодженого) озброєння та військової техніки, інших матеріально-технічних засобів до місць (об'єктів) ремонту (зберігання);

- забезпечити перевезення, пов'язані з проведенням заходів медичної евакуації у ЗСУ (у тому числі перевезення хворих і поранених ЗСУ);

- організувати міждержавні перевезення військових частин (підрозділів) ЗСУ, які беруть участь у міжнародних операціях (навчаннях);

- контроль виконання військових перевезень збройних сил інших держав через (на) територію України у відповідності до законодавства України та міжнародних договорів;

- забезпечити виконання перевезень, пов'язаних з отриманням міжнародної технічної допомоги від країн-партнерів НАТО тощо.

Для рішення багатьох визначених завдань відповідно до [8] доцільно застосовувати сучасні економіко-математичні методи. Так для моделювання логістичних функцій у транспортній логістиці найбільш розповсюдженими є:

- моделі вибору перевізника;

- маршрутизація перевезень (транспортна задача);

- модель "точно-своєчасно";

- економіко-математична модель макрологістичної системи (виробничо-транспортна задача);

- моделі “виробництво-транспорт-споживання”;

- мережеві моделі;

- моделі динамічного програмування тощо.

За думкою більшості дослідників для вирішення задачі оптимального використання сил та засобів стосовно вантажоперевезень є застосування транспортної задачі.

Класична транспортна задача, полягає у пошуку оптимального плану перевезень однорідного вантажу з  $m$ -пунктів відправлення  $A_1, A_2, \dots, A_m$ , у яких знаходиться відповідно  $a_1, a_2, \dots, a_m$  одиниць вантажу у  $n$ -пунктів призначення  $B_1, B_2, \dots, B_n$ , у кожний з яких потрібно завезти відповідно  $b_1, b_2, \dots, b_n$  одиниць вантажу з пункту  $A_i$  відправлення у пункт  $B_j$  призначене, відоме і складає  $C_{ij}$ . Потрібно скласти такий план перевезень, при якому загальна вартість перевезень була б мінімальною і були б задоволені потреби споживачів. Будемо вважати, що задача збалансована (закрита), тобто

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Незбалансована задача (відкрита) зводиться до збалансованої шляхом введення фіктивних постачальників або фіктивних споживачів залежно від дефіциту потреб чи запасів. Вартість перевезень (відстань) від фіктивних постачальників або до фіктивних споживачів вважають рівною нулю. Для математичної постановки транспортної задачі позначимо  $x_{ij}$  – кількість одиниць вантажу, яку потрібно перевезти з пункту відправлення  $A_i$  до пункту призначення  $B_j$ , щоб план перевезень був оптимальним. Ураховуючи вартість перевезень одиниці вантажу  $C_{ij}$ , загальна вартість перевезення вантажу з пункту  $A_i$  до пункту  $B_j$  складає  $C_{ij}x_{ij}$ . Загальна вартість перевезень усього вантажу становить:

$$z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} x_{ij} \rightarrow \min.$$

Система обмежень складається виходячи з передумови, що загальна сума запасів, вивезених з  $m$ -пунктів, дорівнює загальній сумі потреб у  $i$ -му пункті:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, 2, \dots, n;$$

загальна кількість вантажу, вивезеного з  $i$ -го пункту, дорівнює наявності вантажу в  $i$ -му пункті:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, 2, \dots, m;$$

за умов, що кількість одиниць вантажу, вивезених з пункту  $A_i$  до пункту  $B_j$ , невід’ємна:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n;$$

задача збалансована:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$$

Математична постановка транспортної задачі полягає у знаходженні невід'ємних значень розв'язків системи рівнянь-обмежень, які забезпечують мінімальне значення лінійної форми  $z(x_{ij})$ . Умовою існування розв'язку транспортної задачі (наявності оптимального плану) є збалансованість транспортної задачі. Якщо усі  $a_i$  та  $b_j$  – цілі числа, тоді розв'язок транспортної задачі – оптимальний вектор, що має цілі чисельні координати. Ранг матриці системи функціональних обмежень транспортної задачі визначається за формулою  $r = m + n - 1$ , де  $m$  – кількість пунктів відправлення;  $n$  – кількість пунктів споживання, бо за умов виконання збалансованості транспортної задачі кількість лінійно незалежних рівнянь-обмежень на одне менше загальної кількості рівнянь. Таким чином, кількість базисних невідомих у транспортній задачі дорівнює завжди  $m + n - 1$ , а кількість вільних невідомих  $mn - (m + n - 1)$ .

Отже, транспортна задача є задачею лінійного програмування у канонічній формі з деякими особливостями:

- коефіцієнти при невідомих у всіх рівняннях-обмеженнях дорівнюють одиниці;
- кожна невідома змінна зустрічається лише у двох функціональних рівняннях-обмеженнях, тому матриця коефіцієнтів при невідомих змінних  $x_{ij}$  побудована з одиниць та нулів; кожен стовпчик матриці нараховує дві одиниці, а інші елементи – нулі;
- система рівнянь-обмежень транспортної задачі симетрична відносно усіх змінних  $x_{ij}$ .

Послідовність розв'язання транспортної задачі відповідає послідовності розв'язання звичайної задачі лінійного програмування:

1. Визначається опорний план (припустиме базисне рішення) транспортної задачі.
2. З'ясовується оптимальність опорного плану.

3. Здійснюється перехід від одного опорного плану до іншого або завершується задача оптимізації.

Враховуючи структурні особливості побудови системи логістичного забезпечення сил оборони держави її функціональність реалізується у відповідності до рівнів логістичного забезпечення, на яких відбувається розподіл логістичних завдань відповідно до рівнів військового управління.

Таким чином, особливістю структури системи логістичного забезпечення сил оборони є її поділ на стратегічний, оперативний та тактичний рівні, між якими існує чітке розмежування функцій та повноважень щодо організації логістичного забезпечення ЗСУ та інших складових сил оборони.

На стратегічному рівні виконання цих завдань покладено на структурні підрозділи Міністерства оборони України, інші центральні органи, у підпорядкуванні яких перебувають військові формування: Головне управління логістики (J-4) Генерального штабу ЗСУ; КСЛ ЗСУ з підпорядкованими силами та засобами логістичного забезпечення; Центр логістики Командування об'єднаних сил з переданими у підпорядкування силами і засобами логістичного забезпечення та органи управління логістичним забезпеченням центральних органів інших складових сил оборони з підпорядкованими силами та засобами.

На оперативному рівні виконання цих завдань покладено на підрозділи логістики штабів, командування (управління, підрозділи) логістики органів військового управління, регіональні (територіальні) органи управління логістичним забезпеченням інших складових сил оборони з підпорядкованими силами та засобами логістичного забезпечення.

На тактичному рівні підрозділи логістики штабів, підрозділи логістики (посадові особи) військових частин, органи управління та підрозділи забезпечення військових частин

(підрозділів) інших складових сил оборони з підпорядкованими силами та засобами логістичного забезпечення.

У відповідності з визначеними рівнями логістичного забезпечення сил оборони держави проведемо імітаційне моделювання на основі моделі транспортної задачі процесів переміщення, перевезення (транспортувань) силами підрозділів та частин логістики матеріально-технічних засобів:

На відповідних рівнях А – стратегічний, В – оперативний, С – тактичний знаходиться, наприклад, 130, 160 і 210 одиниць матеріально-технічних засобів різних класів постачання відповідно. Виходячи з поставленого завдання, складемо план забезпечення 4-х споживачів (I, II, III, IV) відповідних класів забезпечення так, щоб вони отримали необхідні 90, 120, 160 і 130 одиниць матеріально-технічних засобів відповідно, а витрати на перевезення були мінімальними.

Витрати на переміщення, перевезення (транспортування) 1 одиниці відповідних класів МТЗ (в вартісному еквіваленті) зі складів відповідного рівня логістичного забезпечення до визначених споживачів наведена в таблиці 1.

Ймовірнісними показниками в даній транспортній задачі є об'єми переміщення, перевезення (транспортування), які залежать від безлічі факторів (наявність необхідної кількості МТЗ, стану транспортної мережі, вірогідності вогневого ураження та інше).

**Таблиця 1– Витрати на переміщення, перевезення (транспортування) одиниці відповідних класів МТЗ**

Склади / Центри забезпечення (за рівнями)	Споживачі (за класами)			
	I	II	III	IV
A	8	10	14	6
B	10	6	8	10
C	6	12	10	8

Припустимо  $G_{ij}$  – витрати на організацію та здійснення переміщення, перевезення (транспортування) одиниці продукції з  $i$ – го складу (центру забезпечення) до  $j$ – го споживача (частини, підрозділу),  $x_{ij}$  – об'єм перевезень з  $i$ – го складу (центру забезпечення) до  $j$ – го споживача (частини, підрозділу).

Таким чином, цільова функція, яка відповідає сумарним витратам на організацію та здійснення переміщення, перевезення (транспортування) МТЗ відповідних класів постачання зі складів (центрів забезпечення) споживачам (частинам, підрозділам) має вигляд:

$$z = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^4 G_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

При цьому транспортна задача має наступні обмеження:

Обмеження на ресурси:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 130; \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 160; \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 210. \end{cases} \quad (2)$$

Обмеження на потреби:

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + x_{31} = 120; \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} = 160; \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} = 130. \end{cases} \quad (3)$$

Умова невід'ємності:

$$x_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, 3; j = 1, \dots, 4. \quad (4)$$

Таким чином, рішення імітаційного моделювання процесів логістичного забезпечення на основі транспортної задачі зводиться до мінімізації цільової функції для всіх величин  $x_{ij}$ , які задовольняють умовам (2-4).

Результати проведеного імітаційного моделювання транспортної задачі в середовищі табличного процесора MS EXCEL представлено на рис.2, 3.

	A	B	C	D	E	F
1	Бази	Споживачі				Запаси на базі
2		1	2	3	4	
3	А	0	0	0	0	130
4	Б	0	0	0	0	160
5	В	0	0	0	0	210
6	Всього					500
7	Потреба	90	120	160	130	500
8						
9	Бази	Споживачі				Запаси на базі
10		1	2	3	4	
11	А	8	10	14	6	130
12	Б	10	6	8	10	160
13	В	6	12	10	8	210
14						
15	Цільова комірка					0
16						
17	Обмеження А					0
18	Обмеження Б					0
19	Обмеження В					0
20	Обмеження 1					0
21	Обмеження 2					0
22	Обмеження 3					0
23	Обмеження 4					0
24						

Рисунок 2 – Таблиця для визначення оптимального плану здійснення переміщення, перевезення (транспортування) МТЗ відповідних класів постачання

На рис. 2 представлена форма розрахунку щодо визначення оптимального плану здійснення переміщення, перевезення (транспортування) МТЗ відповідних класів постачання, з складів (центрів забезпечення) за визначеними логістичними рівнями А, В, С між споживачами відповідних груп I, II, III, IV.

В діапазоні клітинок B11:E13 формується матриця вартостей (витрат) перевезень однієї одиниці МТЗ з кожного складу кожному споживачу; результат визначення значення цільової

функції подається в клітинці F15, при цьому визначені в задачі обмеження задачі записуються в клітинки F17:F23.

Результат розрахунку транспортної задачі представлений на рис.3.

	A	B	C	D	E	F
1	Бази	Споживачі				Запаси на базі
2		1	2	3	4	
3	A	0	0	0	130	130
4	Б	0	120	40	0	160
5	В	90	0	120	0	210
6	<b>Всього</b>					500
7	<b>Потреба</b>	90	120	160	130	500
8						
9	Бази	Споживачі				Запаси на базі
10		1	2	3	4	
11	A	8	10	14	6	130
12	Б	10	6	8	10	160
13	В	6	12	10	8	210
14						
15	Цільова комірка					3560
16						
17	Обмеження А					130
18	Обмеження Б					160
19	Обмеження В					210
20	Обмеження 1					90
21	Обмеження 2					120
22	Обмеження 3					160
23	Обмеження 4					130
24						

Рисунок 3 – Результат розрахунку транспортної задачі.

### Висновки

В результаті аналізу отриманих результатів (рис.3) можливо зробити висновки застосування моделі транспортної задачі для проведення імітаційного моделювання логістичних процесів з організації переміщення, перевезення (транспортування) МТЗ відповідних класів постачання з складів (центрів забезпечення) за визначеними логістичними рівнями між споживачами відповідних груп є оптимальним.

Як альтернативу даному методу можливо застосування методів теорії масового обслуговування з проведенням імітаційного моделювання GPSS, що дозволить проводити дослідження в умовах багатофакторності досліджуваного завдання з використанням програмного комплексу “Сервіс планування маршрутів доставки вантажів”, що є перспективою подальших досліджень у цьому напрямку.

### Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

### Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

## Список використаних джерел

1. Ролін І.Ф., Купрієнко Д.А., Марущенко В.В. (2022). Концептуальний підхід до планування та ведення сухопутних операцій за стандартами НАТО. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки. № 1,2 (87). С. 142–168. <https://doi.org/10.32453/3.v87i1-2.1087>
2. Казарезов А. Я. Галь А. Ф., Барабанова Ю. Є. (2018). Оптимізаційні моделі транспортної логістики : підручник. Миколаїв : НУК.232 с.
3. Ольхова М. В., Рославцев Д. М. (2021). Оцінювання заходів міської логістики: моделювання потоку вантажних транспортних засобів. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 99 с.
4. Доля В. К., Давідич Ю. О., Лобашов О. О. (2016). Застосування моделей і методів ергономіки і логістики в транспортних системах : монографія. Харків : Видавництво «Лідер». 332 с.
5. Аулін В. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В., Головатий А. О., Голуб Д. В. (2021). Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем: монографія. Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф. 503 с.
6. Давідич Ю. О., Фалецька Г. І. (2019). Конспект лекцій з дисципліни «Моделювання транспортних систем» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології). Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 71 с.
7. Доктрина Об'єднана логістика. Військова керівна доктринальна публікація військовим організаційним структурам, що визначає погляди та основні положення щодо логістичного забезпечення ЗСУ. – Київ, ГУЛ ГШ ЗСУ, 2020 р. 39 с.
8. Соколовська З. М., Андрієнко В. М., Івченко І. Ю. (2016). Математичне та комп'ютерне моделювання економічних процесів: монографія. Одеса : Астропринт. 308 с.
9. Андросчук О., Березенський Р., Клименко В., Меленчук В., Мельник В., Котов Д. (2023). Моделі надання транспортних послуг силами логістики. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, (79), 13–25. <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-02>

## References

1. Rolin, I., Kupriyenko, D., Marushchenko, V. (2022). Kontseptual'nyy pidkhyd do planuvannya ta vedennya sukhoputnykh operatsiy za standartamy NATO [A conceptual approach to planning and conducting ground operations according to NATO standards]. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsional'noyi akademiyi Derzhavnoyi prykordonnoyi sluzhby Ukrainy. Seriya : viys'kovi ta tekhnichni nauky*. Khmel'nyts'kyi. NADPSU. 1–2 (87), p. 142–168. (In Ukr.). <https://doi.org/10.32453/3.v87i1-2.1087>
2. Kazariezov, A. Y. Hal, A. F., Barabanova, Y. Y. (2018). Optymizatsiini modeli transportnoi lohistyky [Optimization models of transport logistics]: pidruchnyk. Mykolaiv : NUK. (In Ukr.).
3. Olkhova, M. V., Roslavtsev, D. M. (2021) Otsiniuvannia zakhodiv miskoi lohistyky: modeliuvannia potoku vantazhnykh transportnykh zasobiv [Evaluation of urban logistics measures: modeling the flow of freight vehicles] Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova. (In Ukr.).
4. Dolia, V. K., Davidich, Y. O., Lobashov, O. O. (2016). Zastosuvannia modelei i metodiv erhonomiky i lohistyky v transportnykh systemakh [Application of models and methods of ergonomics and logistics in transport systems]: monohrafiia. Kharkiv : Vydavnytstvo «Lider». (In Ukr.).
5. Aulin, V. V., Hryniv, A. V., Lysenko, S. V., Holovaty, A. O., Holub, D. V. (2021). Teoretychni i metodolohichni osnovy lohistyky transportnykh i vyrobnychykh system [Theoretical and methodological foundations of the logistics of transport and production systems]: monohrafiia pid zah. red. d.t.n., prof. Aulina V. V. Kropyvnytskyi : Vydavets Lysenko V.F. (In Ukr.).

6. Davidich, Y. O., Faletska, H. I. (2019). Konspekt leksii z dystsypliny «Modeliuvannia transportnykh system» (dlia mahistriv usikh form navchannia spetsialnosti 275 – Transportni tekhnolohii) [Synopsis of lectures on the discipline "Modeling of transport systems" (for masters of all forms of education, specialty 275 - Transport technologies)] Kharkiv : KhNUMH im. O. M. Beketova. (In Ukr.).
7. Doktryna Obiednana lohistyka. (2020). Vijskova kerivna doktrynalna publikatsija vijskovym orhanizatsijnym strukturam, shcho vyznachaie pohliady ta osnovni polozhennia shchodo lohistychnoho zabezpechennia ZSU [Doctrine of United logistics. Military guiding doctrinal publication for military organizational structures, which defines views and basic provisions regarding the logistical support of the Armed Forces] – Kyiv, HUL HSh ZSU. (In Ukr.).
8. Sokolovska, Z. M., Andriienko, V. M., Ivchenko, I. Yu.(2016). Matematychni ta kompiuterne modeliuvannia ekonomichnykh protsesiv [Mathematical and computer modeling of economic processes]: monohrafiia za zah. red. Z. M. Sokolovskoi. Odesa : Astroprint. (In Ukr.).
9. Androschuk, O., Berezensky, R., Klymenko, V., Melenchuk, V., Melnyk, V., Kotov, D. (2023). Models of provision of transportation services by Logistics Forces. *Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University*, (79), p.13–25. (In Ukr.). <https://doi.org/10.17721/2519-481X/2023/79-02>