

УДК 005

Менеджмент

Запша Галина Миколаївна

*доктор економічних наук, професор,
завідувач кафедри менеджменту
Одеський державний аграрний університет*

Zapsha Halyna

*Doctor of Economic Sciences, Professor,
Head of the Department of Management,
Odessa State Agrarian University
ORCID: 0000-0003-2657-9367*

Бахчиванжи Людмила Анатоліївна

*кандидат економічних наук, доцент,
кафедра менеджменту
Одеський державний аграрний університет*

Bakhchyvanzhy Liudmyla

*Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Department of Management
Odessa State Agrarian University
ORCID: 0000-0001-8381-9684*

Мельничук Оксана Іванівна

*кандидат економічних наук, доцент,
кафедра менеджменту
Одеський державний аграрний університет*

Melnychuk Oksana

*Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Department of Management
Odessa State Agrarian University
ORCID: 0000-0003-2616-0478*

Міхнева Альона Олександрівна

здобувач магістерського рівня вищої освіти

за спеціальністю «Менеджмент»

Одеського державного аграрного університету

Mikhnieva Aliona

Master's degree applicant in the specialty «Management»

Odessa State Agrarian University

ORCID: 0009-0002-7621-9124

**МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ТРАНСПОРТНОЇ
ЗАДАЧІ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПОТОКІВ В
УПРАВЛІННІ ЗОВНІШНЬОЕКОНОМІЧНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ
ПІДПРИЄМСТВА**

**METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING THE TRANSPORTATION
MODEL TO OPTIMIZE LOGISTICS FLOWS IN ENTERPRISE
FOREIGN ECONOMIC ACTIVITY MANAGEMENT**

***Анотація.** Вступ. У сучасних умовах трансформації національної економіки, викликаних зовнішніми загрозами, зокрема війною, підприємства України стикаються з істотними труднощами у здійсненні зовнішньоекономічної діяльності (ЗЕД). Порушення логістичних ланцюгів, зростання транспортних витрат, валютні коливання, зміни митного регулювання та інші фактори актуалізують необхідність впровадження інструментів, що дозволяють приймати обґрунтовані управлінські рішення. У цьому контексті транспортна задача як елемент економіко-математичного моделювання виступає ефективним інструментом оптимізації логістичних потоків та раціоналізації ресурсів у зовнішньоекономічній діяльності підприємств. Її використання дозволяє враховувати не лише вартісні параметри, а й часові, організаційні та*

ризикові фактори, що є вкрай важливими для сучасної міжнародної логістики. Тому виникає необхідність поглибленого дослідження методичних аспектів застосування транспортної задачі як інструменту підвищення ефективності логістичних рішень у межах ЗЕД підприємства.

Мета. Метою дослідження є обґрунтування методичних підходів до застосування транспортної задачі як інструменту оптимізації логістичних потоків у процесі управління зовнішньоекономічною діяльністю підприємства, з урахуванням специфіки міжнародних логістичних операцій і чинників зовнішнього середовища.

Матеріали і методи. Матеріалами дослідження стали статистичні дані про діяльність підприємств, які ведуть зовнішньоекономічну діяльність, відкриті джерела інформації щодо логістичних витрат, програмні документи державного управління, а також практичні приклади використання транспортних моделей у міжнародних логістичних системах.

У процесі дослідження було використано сукупність теоретичних та емпіричних методів наукового пізнання. Теоретичною основою роботи стали праці вітчизняних і зарубіжних учених у галузі логістики, управління зовнішньоекономічною діяльністю, а також математичного моделювання. Методологічною базою дослідження виступають такі методи: метод системного аналізу – для виявлення взаємозв'язків між елементами логістичної системи підприємства в контексті ЗЕД; метод моделювання – для формалізації логістичних задач у вигляді транспортної моделі; економіко-математичні методи – зокрема, методи лінійного програмування, які використовувалися для пошуку оптимальних рішень; порівняльний аналіз – для зіставлення ефективності різних варіантів логістичних рішень; табличний метод – для візуалізації даних, необхідних для побудови і рішення транспортної задачі.

Результати. У статті сформовано методичний підхід до застосування транспортної задачі в управлінні логістичними потоками підприємства у сфері зовнішньоекономічної діяльності. Розроблено поетапну модель її використання, яка охоплює: формалізацію логістичної задачі у зовнішньо-економічній діяльності; побудову математичної моделі у вигляді транспортної таблиці з урахуванням обсягів, витрат та обмежень; вибір та застосування відповідного методу розв'язання; економічну інтерпретацію отриманих результатів; впровадження оптимального рішення в практику управління ЗЕД через інтеграцію в логістичні та ІТ-системи.

У процесі дослідження виявлено особливості застосування транспортної задачі саме у сфері ЗЕД, які відрізняють її від класичних випадків лінійного програмування. Зокрема, урахування таких факторів, як багатокритеріальність, митне та валютне регулювання, коливання міжнародних тарифів і ризиків, специфіка мультимодальних перевезень.

На прикладному прикладі підприємства-імпортера продемонстровано яким чином побудова збалансованої транспортної моделі дозволяє ефективно розв'язати логістичну задачу й отримати оптимальний план перевезень, що сприятиме підвищенню економічної результативності та конкурентоспроможності підприємств у сфері ЗЕД.

Перспективи. Подальші дослідження мають бути зосереджені на розширенні моделі до багатоіндексних задач із урахуванням мультимодальних перевезень, інтеграції ризик-факторів (валютних, політичних, митних) та застосуванні цифрових рішень і алгоритмів штучного інтелекту у моделюванні логістичних процесів у зовнішньоекономічній діяльності.

Ключові слова: зовнішньоекономічна діяльність, міжнародна логістика, методологія досліджень, транспортна задача, оптимізація, економіко-математичне моделювання.

Summary. *Introduction.* In the current conditions of national economic transformation caused by external threats, particularly the war, Ukrainian enterprises face significant challenges in conducting foreign economic activity. Disruption of logistics chains, increased transportation costs, currency fluctuations, changes in customs regulations, and other factors highlight the need for tools that support well-grounded managerial decisions. In this context, the transportation problem, as an element of economic and mathematical modeling, serves as an effective tool for optimizing logistics flows and rationalizing resource use in foreign economic operations. Its application makes it possible to consider not only cost parameters but also time-related, organizational, and risk factors, which are critically important for modern international logistics. Therefore, there is a need for in-depth research on the methodological aspects of using the transportation model as a tool for enhancing the effectiveness of logistics decisions within the scope of a company's foreign economic activity.

Purpose. The purpose of the study is to substantiate methodological approaches to the application of the transportation problem as a tool for optimizing logistics flows in the management of a company's foreign economic activity, taking into account the specifics of international logistics operations and external environmental factors.

Materials and methods. The materials of the study include statistical data on the activities of enterprises engaged in foreign economic operations, open information sources on logistics costs, governmental regulatory documents, as well as practical examples of using transportation models in international logistics systems.

The study applies a set of theoretical and empirical scientific methods. The theoretical basis is formed by the works of domestic and foreign scholars in the fields of logistics, foreign economic activity management, and mathematical modeling. The methodological framework includes: the system analysis method – for identifying interrelations within the company's logistics system in the context

of foreign trade; modeling methods – for formalizing logistics tasks in the form of a transportation model; economic and mathematical methods—particularly linear programming methods for finding optimal solutions; comparative analysis – for evaluating the effectiveness of various logistics decisions; and tabular methods – for visualizing data required to construct and solve the transportation problem.

Results. The article presents a methodological approach to applying the transportation problem in managing enterprise logistics flows in foreign economic activity. A step-by-step model is developed, covering: the formalization of a logistics task in the context of foreign trade; construction of a mathematical model in the form of a transportation table with regard to volumes, costs, and constraints; selection and application of an appropriate solution method; economic interpretation of the results; and implementation of the optimal solution into foreign trade management practice through integration into logistics and IT systems.

The study identifies specific features of applying the transportation model in foreign trade that differentiate it from classical linear programming cases. These include the need to account for multi-criteria objectives, customs and currency regulations, international tariff and risk fluctuations, and the specifics of multimodal transportation.

Using a practical example of an importing enterprise, it is demonstrated how constructing a balanced transportation model allows for an effective solution to the logistics problem and the development of an optimal transportation plan, which contributes to increasing economic efficiency and enterprise competitiveness in international trade.

Discussion. Further research should focus on expanding the model to multi-index transportation problems with the inclusion of multimodal transportation, integration of risk factors (currency, political, customs), and the use of digital solutions and artificial intelligence algorithms for modeling logistics processes in international trade.

Key words: *foreign economic activity, international logistics, research methodology, transportation problem, optimization, economic and mathematical modeling.*

Постановка проблеми. У контексті глибоких трансформацій національної економіки, викликаних збройною агресією російської федерації, питання підвищення ефективності зовнішньоекономічної діяльності (ЗЕД) українських підприємств набуває особливої ваги. Війна призвела до суттєвого порушення логістичних ланцюгів, втрати портової інфраструктури, підвищення вартості міжнародних перевезень і зростання ризиків у зовнішній торгівлі. Водночас міжнародна підтримка, активізація експорту, а також орієнтація на європейські ринки вимагають від підприємств нових рішень щодо оптимізації логістичних процесів і зменшення супутніх витрат.

Транспортна задача як класична модель лінійного програмування є дієвим інструментом для формалізації та вирішення проблем розподілу ресурсів і вибору оптимальних маршрутів постачання. Відсутність єдиного методичного підходу до інтеграції транспортної задачі в систему управління зовнішньоекономічною діяльністю створює прогалини в теоретичному обґрунтуванні і практичній реалізації оптимізаційних механізмів. Тому виникає необхідність поглибленого дослідження методичних аспектів застосування транспортної задачі як інструменту підвищення ефективності логістичних рішень у межах ЗЕД-процесів підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить, що в численних наукових джерелах розкриваються теоретичні, методичні та прикладні аспекти застосування транспортних задач в управлінні логістичними процесами з урахуванням сучасних тенденцій розвитку цифровізації, автоматизації та використання інноваційних підходів у плануванні та контролі матеріальних потоків. Зокрема, у науковій статті Іваницької О.В.,

Рощиної Н.В. та Сербула Р.С. здійснено ґрунтовний аналіз методів побудови опорного плану транспортної задачі. Автори зосереджуються не лише на теоретичному обґрунтуванні підходів до формування початкових рішень, але й демонструють приклади практичного застосування кожного з них, що дозволяє оцінити їхню доцільність у реальних умовах. Важливою складовою дослідження є порівняльний аналіз розглянутих методів, спрямований на виявлення їхніх переваг та обмежень. На основі проведених розрахунків і прикладів застосування зроблено висновок щодо визначення найбільш ефективного методу складання опорного плану, що має практичне значення для оптимізації процесів розв'язування транспортних задач у логістиці та управлінні ресурсами [1].

У своїй праці Подвальна Г. В. акцентує увагу на впливі зовнішніх чинників на процеси планування й реалізації транспортних операцій, підкреслюючи особливу роль оптимізації управлінських рішень у цій сфері. Використання методів оптимізації, зокрема побудова оптимального транспортного плану для доставки продукції від певної кількості постачальників до визначеної кількості споживачів, розглядається як дієвий інструмент підвищення ефективності транспортних процесів. Систематизація отриманих результатів і пошук найкращих рішень задач маршрутизації та транспортної задачі в цілому, на думку дослідниці, сприяє більш раціональному розподілу часу обслуговування клієнтів транспортних підприємств [2].

Скіцько В. І., Войніков М. Ю. серед видів транспортних задач виділяють багатоіндексні транспортні задачі, які дають змогу відображати більшу кількість характеристик і умов, та вказують на їх недостатню вивченість як у теоретичному, так і в прикладному аспектах. Стрімкий розвиток сучасних обчислювальних технологій, на думку авторів, радикально змінив ситуацію, актуалізуючи необхідність системних досліджень багатоіндексних транспортних задач, зокрема у контексті

врахування різних ризиків, а також застосування новітніх інструментів моделювання, включаючи методи штучного інтелекту. Науковцями запропоновано опис етапів генетичного алгоритму для вирішення трипланарної та триаксальної транспортної задачі з використанням кодування дійсними числами, а також продемонстровано способи інтеграції ризик-факторів у процес оптимізації [3].

Івашко Л. М. обґрунтовано необхідність застосування економіко-математичних методів і моделей як ефективного інструменту розв'язання завдань оптимізації в логістиці. Особливу увагу приділено формулюванню задачі мінімізації транспортних витрат на доставку товарів інтернет-магазину від складів до кінцевих споживачів з урахуванням фактору сезонності попиту. На основі цього було побудовано та адаптовано економіко-математичну модель управління логістичними процесами, яка передбачає вибір двох сезонно орендованих складів із п'яти доступних резервних і оптимізацію транспортних витрат, беручи до уваги прогнозований попит, рівень транспортних тарифів і обмеження місткості складів. Представлено різні варіанти алгоритмічного розв'язання цієї задачі, що дозволяє оцінити ефективність запропонованих підходів, виявити додаткові переваги їх використання та підтвердити доцільність впровадження математичних методів у процеси управління логістикою підприємства [4].

Методи економіко-математичного моделювання для оптимізації логістичних потоків стосовно різних видів транспорту у сфері національних та міжнародних перевезень широко застосовуються в роботах низки вітчизняних (Запша Г.М., Кобець С.П., Кузьменко С.В., Бердник Б.М. [5]; Булат А. Ф., Кісельова О. М., Гарт Л. Л., Притоманова О. М. [6]; Подоляка О. А. [7]) та зарубіжних фахівців [8; 9]. Так, предметною областю досліджень Archetti C., Peirano L., Speranza M. G. є оптимізація в задачах мультимодальних вантажних перевезень [8]. Guastaroba G., Speranza M. G.,

Vigo D. зосереджуються на питаннях тактичного планування операцій вантажних перевезень, в ланцюгах яких наявність проміжних об'єктів має суттєвий вплив на вартість логістичної системи та на те, як доставляються товари [9].

Вивченню теоретичних та прикладних аспектів оптимізації бізнес-процесів у логістиці на внутрішньому та зовнішньому ринках з урахуванням кризових ситуацій, економічної рецесії, стихійного лиха, війни, глобальних пандемій, тощо присвячені розробки Трушкіна Н., Сербіна Т. [10], Скіцько В. І. [11], Резнік Н., Лазебник В., Школьний О., Новак І. та інші [12].

Незважаючи на широку апробацію транспортної задачі у теорії операцій та логістиці, її методичне застосування у сфері зовнішньоекономічної діяльності підприємств має низку особливостей, що потребують додаткового аналізу. Зокрема, мова йде про врахування специфіки міжнародного регулювання перевезень, валютних коливань, митних процедур, багатокритеріальності логістичних рішень та ризиків, пов'язаних із міжнародними постачаннями.

Метою статті є обґрунтування методичних підходів до застосування транспортної задачі як інструменту оптимізації логістичних потоків у процесі управління зовнішньоекономічною діяльністю підприємства, з урахуванням специфіки міжнародних логістичних операцій і чинників зовнішнього середовища.

Матеріали і методи. У процесі дослідження було використано сукупність теоретичних та емпіричних методів наукового пізнання. Теоретичною основою роботи стали праці вітчизняних і зарубіжних учених у галузі логістики, управління зовнішньоекономічною діяльністю, а також математичного моделювання. Методологічною базою дослідження виступають такі методи: метод системного аналізу – для виявлення взаємозв'язків між елементами логістичної системи підприємства в контексті ЗЕД; метод моделювання – для формалізації логістичних задач у

вигляді транспортної моделі; економіко-математичні методи – зокрема методи лінійного програмування, які використовувалися для пошуку оптимальних рішень; порівняльний аналіз – для зіставлення ефективності різних варіантів логістичних рішень; табличний метод – для візуалізації даних, необхідних для побудови і рішення транспортної задачі.

Матеріалами дослідження стали статистичні дані про діяльність підприємств, які ведуть зовнішньоекономічну діяльність, відкриті джерела інформації щодо логістичних витрат, програмні документи державного управління, а також практичні приклади використання транспортних моделей у міжнародних логістичних системах.

Виклад основного матеріалу. Згідно з положеннями Національної економічної стратегії на період до 2030 року, затвердженої Постановою Кабінету Міністрів України № 179 від 3 березня 2021 р., однією з стратегічних цілей є: «Підвищення конкурентоспроможності українських товарів і послуг, створення позитивного іміджу країни та забезпечення присутності українських виробників на міжнародних ринках» [13]. Досягнення поставленої цілі великою мірою пов'язане з оптимізацією логістичних потоків, яка забезпечує раціональне використання ресурсів, мінімізацію витрат і підвищення загальної конкурентоспроможності українських підприємств на зовнішніх ринках.

У рамках імплементації Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках, враховуючи сучасну визначальну роль національного агропродовольчого сектора та необхідність поглиблення його інтеграції до світового продовольчого ринку, однією з вимог до суб'єктів ЗЕД є забезпечення ефективного управління ресурсами та передбачуваності логістичних потоків [14].

В контексті викладеного, особливо актуальною стає розробка стратегій оптимізації транспортних витрат, оскільки саме ця сфера часто є

однією з найбільш витратних у логістичному ланцюгу експортно-імпортних операцій. Впровадження математичних моделей оптимізації логістичних процесів – лінійного програмування та, зокрема, транспортних задач, забезпечує оптимізацію транспортних витрат підприємства.

Застосування транспортної задачі в управлінні ЗЕД підприємства передбачає поетапний підхід, який дозволяє формалізувати логістичні потоки, провести їх кількісну оцінку та обрати оптимальні шляхи розподілу ресурсів. З урахуванням узагальнення літературних джерел [15; 16] методологічно цей процес слід поділити на кілька послідовних етапів (рис.1).



Рис. 1. Етапи застосування транспортної задачі в управлінні ЗЕД підприємства

Джерело: узагальнено авторами

На етапі *формалізації логістичної задачі у ЗЕД-контексті* проводиться ідентифікація логістичних потоків, пов'язаних із зовнішньоекономічною діяльністю, зокрема імпортно-експортні поставки, транзитні маршрути, крос-докінг, складське зберігання тощо. Також необхідно визначити пункти відправлення, до яких відносяться постачальники, склади, виробничі дільниці, та пункти призначення, в якості яких виступають закордонні контрагенти, митні термінали, логістичні хаби.

При цьому встановлюються обсяги поставок, транспортні тарифи, можливі маршрути та інші параметри, які впливають на вартісну або часову ефективність логістичної системи.

На основі зібраних вхідних даних здійснюється *побудова математичної моделі транспортної задачі* – задача лінійного програмування, метою якої є мінімізація загальних витрат на транспортування, або іншого цільового критерію, наприклад, часу доставки. Складається транспортна таблиця, у якій зазначаються обсяги ресурсів, потреби пунктів споживання та відповідні витрати на перевезення між пунктами. За потреби вводяться додаткові обмеження, пов'язані з ємністю транспортних засобів, митними процедурами або часовими рамками доставки.

На етапі *вибору та застосування методу розв'язання* обирається відповідний алгоритм розв'язання транспортної задачі. Серед найпоширеніших методів – метод північно-західного кута, метод мінімального елемента, метод потенціалів, а також використання програмних засобів таких як, наприклад, MS Excel Solver, Python, MATLAB, спеціалізовані логістичні платформи. Вибір методу залежить від складності задачі, кількості змінних і наявності специфічних обмежень, характерних для ЗЕД.

Аналіз та інтерпретація результатів здійснюється з точки зору економічної доцільності та логістичної реалістичності. Оцінюється рівень зниження витрат, зменшення часу постачання, підвищення надійності логістичних каналів. Особливу увагу приділяють стійкості рішення до змін у зовнішньому середовищі, серед яких особливо впливовими є валютні коливання, зміни митних тарифів, логістичні ризики тощо.

Імплементация моделі в практику ЗЕД-менеджменту відбувається шляхом інтеграції у логістичні ІТ-системи, формування регламентів логістичного планування, укладання контрактів із транспортними

компаніями на оптимальних умовах тощо. На цьому етапі важливо забезпечити гнучкість моделі та її адаптивність до динамічних умов зовнішнього середовища.

Слід зазначити, що розв'язання транспортної задачі в умовах управління зовнішньоекономічною діяльністю підприємства має низку особливостей, які суттєво ускладнюють її застосування порівняно з класичними моделями лінійного програмування. У ЗЕД підприємства важливим є не лише мінімізація транспортних витрат, але й оптимізація часу доставки, забезпечення надійності поставок, зниження ризиків, пов'язаних із митними процедурами, а також дотримання міжнародних стандартів перевезень. Це вимагає поєднання кількох критеріїв у межах однієї моделі, тобто обумовлює багатокритеріальність задачі. На відміну від внутрішніх перевезень, у міжнародній логістиці необхідно враховувати валютні коливання, митні збори, тарифи, санкційні обмеження, політичні ризики, умови міжнародних договорів та інтеграційних угод, що ускладнює стабільність і прогнозованість розрахунків. У практиці ЗЕД часто виникає потреба у вирішенні не лише класичної (двохіндексної) транспортної задачі, а й багатоіндексних моделей з урахуванням проміжних складів, транспортних коридорів, мультимодальних перевезень. Це призводить до експоненційного зростання кількості змінних і ускладнює розрахунки навіть при використанні сучасних програмних засобів. Для ефективного вирішення задачі потрібні точні й актуальні дані про витрати, тарифи, обсяги поставок і попиту, які в умовах ЗЕД не завжди є доступними або достовірними. Крім того, не всі підприємства мають інтегровані логістичні інформаційні системи, здатні автоматизувати процеси моделювання.

Розглянемо приклад практичного застосування транспортної задачі в зовнішньоекономічній діяльності вітчизняного підприємства – імпортера, що закуповує обладнання у постачальників з країн Європи і Азії для

задоволення потреб замовників на внутрішньому ринку. Схематично логістичний ланцюг такого виду діяльності представлено на рис.2.

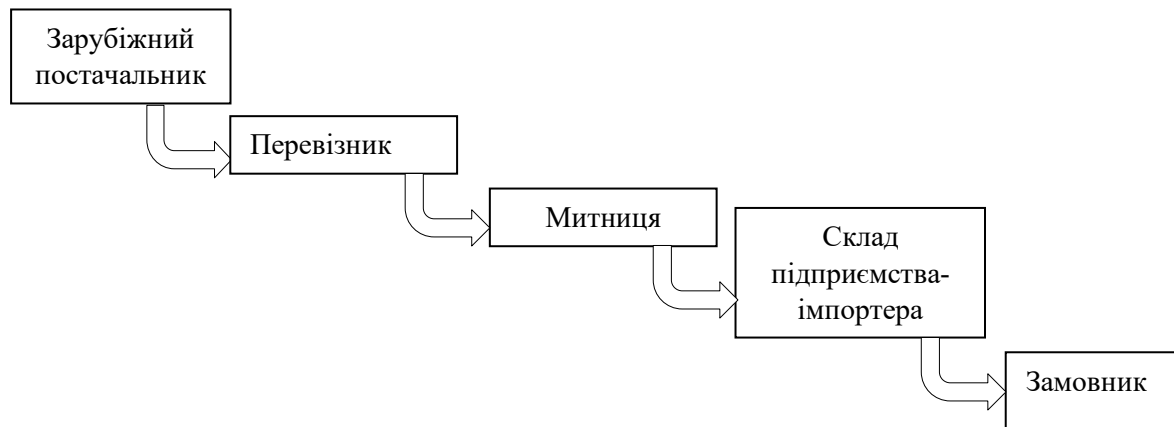


Рис. 2. Логістичний ланцюг у зовнішньоекономічній діяльності вітчизняного підприємства-імпортера обладнання

Джерело: розроблено авторами

Задача полягає в оптимізації перевезень одиниць продукції від трьох пунктів постачання (підприємств) – А1 (Гамбург), А2 (Бланско), А3 (Шанхай) – до чотирьох пунктів споживання – В1 (Київ), В2 (Одеса), В3 (Львів), В4 (Харків). Ці параметри формуються з урахуванням доставки імпортного обладнання до складу компанії імпортера, звідки потім відбувається доставка до конкретного покупця. Умова задачі з урахуванням перелічених відомих параметрів проблемної ситуації набуває наступного вигляду (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні умови транспортної задачі

Зарубіжні постачальники	Пункти споживання				Обсяг виробництва, одиниць
	В1(Київ)	В2(Одеса)	В3(Львів)	В4(Харків)	
	Тариф на перевезення за одиницю товару, умовних грошових одиниць				
А1 (Гамбург)	2,5	2	3	3,5	240
А2 (Бланско)	3	1,5	3,5	3	60
А3 (Шанхай)	3,5	2,5	4	4	180
Обсяг споживання, одиниць	30	125	100	150	

Джерело: розроблено авторами

В методичних цілях в умові транспортної задачі тарифи на перевезення обладнання від виробника до складу імпортера наведені в умовних вартісних одиницях виміру.

Метою рішення є мінімізація загальних витрат на транспортування, враховуючи задані тарифи перевезення одиниці продукції. Тобто необхідно знайти, скільки одиниць продукції потрібно перевезти з кожного пункту постачання до кожного пункту споживання, щоб задовольнити попит за мінімальних витрат.

Згідно даних таблиці 1 загальний обсяг виробництва ($240+60+180=480$ од.) перевищує загальний обсяг споживання ($30+125+100+150=405$ од.). Для розв'язання транспортної задачі необхідно і достатньо, щоб запаси вантажів у пунктах відправлення були рівні потребам у вантажі в пунктах призначення, тобто щоб виконувалося рівняння (1):

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

Таким чином, маємо ситуацію, коли запаси перевищують попит (2):

$$\sum_{i=1}^n a_i > \sum_{j=1}^m b_j \quad (2)$$

Для збалансування задачі вводиться фіктивний пункт споживання (B5) із попитом 75 одиниць і вартістю перевезення 0 умовних грошових одиниць (табл. 2), що дозволяє зрівняти загальний обсяг виробництва з загальним обсягом споживання 480 од., що, в свою чергу, є умовою для розв'язання транспортної задачі.

Таблиця 2

Умова транспортної задачі після введення фіктивного споживача

Зарубіжні постачальники	Пункти споживання					Обсяг виробництва , од
	B1 (Київ)	B2 (Одеса)	B3 (Львів)	B4 (Харків)	B5 (фіктивний)	
	Тариф на перевезення за одиницю товару, умовних грошових одиниць					
A1(Гамбург)	2,5	2	3	3,5	0	240
A2(Бланско)	3	1,5	3,5	3	0	60

А3(Шанхай)	3,5	2,5	4	4	0	180
Обсяг споживання, од	30	125	100	150	75	480

Джерело: побудовано авторами

Після того як обсяги виробництва та споживання було зрівняно шляхом введення фіктивного пункту, задача транспортування набула збалансованого вигляду, що дозволяє перейти до етапу її розв'язання. Для цього використовується табличний процесор Excel, у якому вирішується математична модель задачі з цільовою функцією, що виражає сумарні витрати на перевезення продукції від постачальників до споживачів (3):

$$C(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} * X_{ij} \rightarrow \min \quad (3)$$

де: n- це кількість виробників,

m- кількість споживачів,

C_{ij} - вартість перевезення одиниці товару від постачальника A_i споживачу B_j ,

X_{ij} - кількість товару, який потрібно перевезти від постачальника A_i споживачу B_j .

До моделі додаються обмеження (4), що забезпечують дотримання логістичних умов задачі: кількість товару, який відвантажується з кожного постачальника, не перевищує доступного обсягу, а кількість товару, що надходить у кожен пункт споживання, не перевищує відповідного попиту. Крім того, кількість відправленої продукції не може бути від'ємною.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq a_i \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j \\ x_{ij} \geq 0, i = \overline{1, n}; j = \overline{1, m}, \text{ де:} \end{array} \right. \quad (4)$$

a_i – це запас товару у постачальника A_i , $i = \overline{1, n}$;

b_j – це потреба в товарі споживача B_j , $j = \overline{1, m}$

Після формалізації цільової функції та введення обмежень використовується інструмент Excel «Пошук рішення». В результаті розрахунків формується оптимальний план транспортних перевезень, поданий у таблиці 3.

Таблиця 3

Оптимальний план транспортних потоків від виробників до споживачів-імпортерів

Зарубіжні постачальники	Пункти споживання					Обсяг виробництва , од
	В1 (Київ)	В2 (Одеса)	В3 (Львів)	В4 (Харків)	В5 (фіктивний)	
А1(Гамбург)	30	110	100	0	0	240
А2(Бланско)	0	0	0	60	0	60
А3(Шанхай)	0	15	0	90	75	180
Обсяг споживання , од	30	125	100	150	75	480

Джерело: побудовано авторами

Згідно з оптимальним планом перевезень, сформованим у результаті розв'язання транспортної задачі, весь наявний обсяг продукції було ефективно розподілено між споживачами з мінімальними витратами. Основну частину поставок забезпечує умовне підприємство А1 (Гамбург), яке задовольняє потреби Києва, Одеси та Львова. Зокрема, у Київ направлено 30 одиниць товару, в Одесу – 110, а у Львів – 100. Харків отримує 60 одиниць товару зі складу А2 (Бланско) та 90 – зі складу А3 (Шанхай). Надлишок продукції зі складу А3 було перенаправлено до фіктивного пункту В5, що забезпечило рівновагу між загальним обсягом виробництва та споживання. Загальні витрати на транспортування склали 1172,5 умовних грошових одиниць.

Висновки і перспективи подальших досліджень. У результаті проведеного дослідження було доведено, що транспортна задача є дієвим інструментом оптимізації логістичних потоків у системі управління зовнішньоекономічною діяльністю підприємства. Застосування математичних моделей, зокрема транспортної задачі, дозволяє

підприємствам приймати обґрунтовані управлінські рішення щодо вибору оптимальних маршрутів постачання, мінімізації витрат на транспортування та підвищення ефективності логістичних процесів в умовах міжнародної конкуренції та нестабільного зовнішнього середовища.

Практичне моделювання за допомогою табличного процесора Excel із використанням реальних умов транспортування показало ефективність обраного підходу та довело доцільність його впровадження в діяльність підприємств-імпортерів.

Подальші дослідження мають бути зосереджені на розширенні моделі до багатоіндексних задач із урахуванням мультимодальних перевезень, інтеграції ризик-факторів (валютних, політичних, митних) та застосуванні цифрових рішень і алгоритмів штучного інтелекту у моделюванні логістичних процесів у зовнішньоекономічній діяльності.

Література

1. Іваницька О. В., Рощина Н. В., Сербул Р. С. Транспортна задача лінійного програмування. *Агросвіт*. 2015. №14. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/14_2015/8.pdf (дата звернення: 15.09.2025)

2. Подвальна Г.В. Оптимізація перевезень: проблеми використання «транспортної задачі». *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2012. С 176-180. URL: <https://salon.li/2905f36> (дата звернення: 20.08.2025)

3. Скіцько В. І., Войніков М. Ю. Вирішення трьохіндексної транспортної задачі в умовах ризику з використанням генетичного алгоритму. *Проблеми економіки*. 2018. № 3 (37). С 246-252. URL: https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2018-3_0-pages-246_252.pdf (дата звернення: 20.08.2025)

4. Івашко Л. М. Оптимізація управління логістичними процесами у торгівлі. *Ринкова економіка: сучасна теорія і практика управління*. 2022.

№ 21(3(52)). С. 365–389. URL: [https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.3\(52\).275817](https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.3(52).275817) (дата звернення: 21.08.2025)

5. Запша Г.М., Кобець С.П., Кузьменко С.В., Бердник Б.М. Моделювання системи управління логістикою підприємства з урахуванням сучасних трендів зовнішньоекономічної діяльності. *Актуальні проблеми економіки*. 2025. № 1 (283). С.157-174. DOI: 10.32752/1993-6788-2025-1-283-157-174

6. Булат А. Ф., Кісельова О. М., Гарт Л. Л., Притоманова О. М. Математичні моделі двоетапних задач оптимального розміщення-розбиття в умовах невизначеності. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. 2022. Вип. 22. С. 11–24. DOI: <https://doi.org/10.15421/322202>

7. Подоляка О. А. Нормалізація критеріїв у багатокритеріальній транспортній задачі. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2021. № 92.1. С. 60–66. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.60>

8. Archetti C., Peirano L., Speranza M. G. Optimization in multimodal freight transportation problems: A Survey. *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 299, No. 1. P. 1–20. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.07.031.

9. Guastaroba G., Speranza M. G., Vigo D. Intermediate Facilities in Freight Transportation Planning: A Survey. *Transportation Science*. 2016. Vol. 50, No. 3. P. 763–789. DOI: 10.1287/trsc.2015.0631.

10. Трушкіна Н., Сербіна Т. Міжнародна логістика у системі зовнішньоекономічної діяльності підприємства. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*. 2022. Vol. 1, No. 3. С. 101–114. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20220103.7>

11. Скіцько В. І. Оцінювання логістичного ризику з використанням колективного штучного інтелекту. *Проблеми економіки*. 2017. № 4. С. 430-

436. URL: https://www.problecon.com/article/?id=2017-4_0_430 (дата звернення: 18.09.2025).

12. Reznik N. et al. Optimization of Logistic Business Processes in the Context of Enterprise Crisis Management. In: Alareeni, B. (eds) Big Data in Finance: Transforming the Financial Landscape. Studies in Big Data. 2025. Vol 164. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75095-3_26

13. Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року: Постанова Кабінету Міністрів України № 179 від 3 березня 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.09.2025).

14. Про схвалення Стратегії розвитку сільського господарства та сільських територій в Україні на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2025-2027 роках: Розпорядження Кабінету Міністрів України № 1163-р від 15 листопада 2024 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1163-2024-%D1%80?find=1&text=%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%81%D1%82%D0%B8%D1%87#Text> (дата звернення: 16.09.2025).

15. Бартіш М. Я., Дудзяний І. М. Дослідження операцій. Частина 1. Лінійні моделі: підручник. Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2007. 168 с. URL: <https://ami.lnu.edu.ua/books/doslidzhennya-operacij-chastina-1-linijni-modeli> (дата звернення: 5.09.2025).

16. Меньшикова О. В., Чмир О. Ю., Карабин О. О. Дослідження операцій: навчальний посібник. Львів: ЛДУ БЖД, 2019. 196 с. URL: <http://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/6240> (дата звернення: 8.09.2025).

References

1. Ivanytska, O. V., Roshchyna, N. V., Serbul, R. S. (2015). Transportna zadacha liniinoho proqramuvannia. [Transportation problem of linear

programming]. *Ahrosvit*, (14), Pp. 36–40. URL: http://www.agrosvit.info/pdf/14_2015/8.pdf [in Ukrainian].

2. Podvalna, H. V. (2012). Optymizatsiia perevezen: problemy vykorystannia «transportnoi zadachi». [Optimization of transportation: problems of using the "transportation problem"]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika».*, (749), Pp. 176–180. URL: <https://sal0.li/2905f36> [in Ukrainian].

3. Skitsko, V. I., Voinikov, M. Yu. (2018). Vyrishennia trokhindeksnoi transportnoi zadachi v umovakh ryzyku z vykorystanniam henetychnoho alhorytmu. [Solving a three-index transportation problem under risk using a genetic algorithm]. *Problemy ekonomiky*, 3(37), Pp. 246–252. URL: https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2018-3_0-pages-246_252.pdf [in Ukrainian].

4. Ivashko, L. M. (2022). Optymizatsiia upravlinnia lohistychnymy protsesamy u torhivli. [Optimization of logistics processes management in trade]. *Rynkova ekonomika: suchasna teoriia i praktyka upravlinnia.*, 21(3(52)), Pp.365–389. [https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.3\(52\).275817](https://doi.org/10.18524/2413-9998.2022.3(52).275817).

5. Zapsha, H. M., Kobets, S. P., Kuzmenko, S. V., Berdnyk, B. M. (2025). Modeliuvannia systemy upravlinnia lohistykoiu pidpriemstva z urakhuvanniam suchasnykh trendiv zovnishnoekonomichnoi diialnosti. [Modeling the enterprise logistics management system considering modern foreign economic activity trends]. *Aktualni problemy ekonomiky*, 1(283), Pp.157–174. <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2025-1-283-157-174>.

6. Bulat, A. F., Kiselova, O. M., Hart, L. L., Prytomanova, O. M. (2022). Matematychni modeli dvoetapnykh zadach optymalnoho rozmishchennia-rozbytta v umovakh nevyznachenosti. [Mathematical models of two-stage optimal location-splitting problems under uncertainty]. *Pytannia prykladnoi matematyky i matematychnoho modeliuvannia.*, 22, Pp.11–24. <https://doi.org/10.15421/322202>.

7. Podolyaka, O. A. (2021). Normalizatsiia kryteriiv u bahatokryterialnii transportnii zadachi. [Normalization of criteria in a multicriteria transportation problem]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu.*, 92(1), Pp. 60–66. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.60>.
8. Archetti, C., Peirano, L., & Speranza, M. G. (2022). Optimization in multimodal freight transportation problems: A survey. *European Journal of Operational Research*, 299(1), Pp. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.031> [in English].
9. Guastaroba, G., Speranza, M. G., & Vigo, D. (2016). Intermediate facilities in freight transportation planning: A survey. *Transportation Science*, 50(3), Pp.763–789. <https://doi.org/10.1287/trsc.2015.0631> [in English].
10. Trushkina, N., Serbina, T. (2022). Mizhnarodna lohistyka u systemi zovnishnoekonomichnoi diialnosti pidpriemstva. [International logistics in the system of foreign economic activity of the enterprise]. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*, 1(3), Pp.101–114. <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20220103.7>. [in Ukrainian].
11. Skitsko, V. I. (2017). Otsiniuvannia lohistychnoho ryzyku z vykorystanniam kolektyvnoho shtuchnoho intelektu. [Assessing logistics risk using collective artificial intelligence]. *Problemy ekonomiky*, (4), Pp.430–436. URL: https://www.problecon.com/article/?id=2017-4_0_430 [in Ukrainian].
12. Reznik, N., et al. (2025). Optimization of logistic business processes in the context of enterprise crisis management. In B. Alareeni (Ed.), *Big Data in Finance: Transforming the Financial Landscape. Studies in Big Data* (Vol. 164). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75095-3_26. [in English].
13. Pro zatverdzhennia Natsionalnoi ekonomichnoi stratehii na period do 2030 roku. [On approval of the National Economic Strategy until 2030]. Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution No. 179, March 3, 2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].

14. Pro skhvalennia Stratehii rozvytku silskoho hospodarstva ta silskykh terytorii v Ukraini na period do 2030 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii u 2025–2027 rokakh. [On approval of the Strategy for the development of agriculture and rural areas in Ukraine until 2030 and the approval of the operational action plan for its implementation in 2025–2027]. Cabinet of Ministers of Ukraine. Decree No. 1163-r, November 15, 2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1163-2024-%D1%80#Text> [in Ukrainian].

15. Bartish, M. Ya., Dudziany, I. M. (2007). Doslidzhennia operatsii. Chastyna 1. Liniini modeli: pidruchnyk. [*Operations Research. Part 1. Linear Models: Textbook*]. Lviv: Vydavnychiy tsentr LNU im. I. Franka. URL: <https://ami.lnu.edu.ua/books/doslidzhennya-operacij-chastina-1-linijni-modeli> [in Ukrainian].

16. Menshykova, O. V., Chmyr, O. Yu., Karabyn, O. O. (2019). Doslidzhennia operatsii: navchalnyi posibnyk. [*Operations Research: Textbook*]. Lviv: LDU BZhD. URL: <http://sci.ldubgd.edu.ua/handle/123456789/6240> [in Ukrainian].