

А. І. Старіков¹
О. О. Соларьов¹
М. О. Мікуліна¹
Н. В. Тарельник¹
О. В. Таценко¹

ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ПІДХОДІВ ДО РОЗВ'ЯЗАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЗАДАЧ

¹Сумський національний аграрний університет

Формування економічно обґрунтованого маршруту руху є одним з ключових завдань фахівця з транспортних технологій. Складання обґрунтованої матриці маршруту є важливим елементом будь-якого підприємства, задіяного в транспортному процесі. Метою складання маршруту руху є мінімізація коштів та персоналу, необхідного для перевезення вантажу. Досить часто саме вдало вибрані маршрути дають змогу суттєво вплинути на економічну ситуацію виробництва, адже витрати на паливо-мастильні матеріали є одними з найбільших. Під час формування маршруту руху логістичний центр часто стикається з таким явищем як «порожній пробіг», який має негативний вплив на економічний показник. Найширше маршрутизація може бути використана в оптовій торгівлі. Завданням першої є мінімізація витрат на доставку товару споживачам. На сьогоднішній день транспорт є одним з головних елементів у логістичних системах, за його допомогою відбуваються переміщення товарів чи продукту на будь-якому підприємстві в середині або між виробництвами. Розвиток цього напрямку може дозволити суттєво скоротити витрати, поліпшити умови праці водіїв та обслуговувального персоналу.

Вдало спроектувати маршрут руху сьогодні можна, використовуючи сучасне програмне забезпечення та відомі математичні алгоритми, які досить просто використовувати у таких базах, як: Microsoft Excel або MathCad. В статті вибрано та обґрунтовано найактуальніший метод побудови матриці маршруту. Запропонований метод дає можливість швидкого накопичення та оброблення даних.

Головним завданням статті є аналіз сучасних методів побудови матриць маршрутів для реального виробництва. Проаналізувавши відомі методи побудови матриць маршруту визначено, що найефективнішим з економічної точки зору є метод потенціалів, який дозволяє мінімізувати не тільки витрати, а й відстані руху. Економічний ефект від використання методу потенціалів для побудови матриці маршруту складає близько 15 %.

Ключові слова: матриця маршруту, метод потенціалів, перевезення вантажів.

Вступ

У сучасних умовах виробництва інформаційні технології мають доволі стрімкий розвиток та проникають майже у всі сфери діяльності людства. Тому для розв'язання складних задач у будь-якій сфері фахівець повинен вміти використовувати різне програмне забезпечення. Це зі свого боку дає можливість значно спростити виконувану роботу та уникнути помилок в процесі складних розрахунків.

При формуванні маршруту руху, роботи логістичних об'єктів необхідно швидко накопичувати, обробляти інформацію та представляти її у вигляді готових документів. Головною умовою функціонування логістичної служби є мінімізація витрат за використання запропонованого маршруту руху. Для розв'язання більшості задач цього напрямку використовують сучасне програмне забезпечення, лідерами серед яких є: PTV Visum, MATSim, Aimsun Next та інші.

Головною задачею будь-якого програмного продукту з логістики є мінімізація витрат на забезпечення певного маршруту руху, персоналу, задіяного в ланцюзі забезпечення процесу перевезення, та швидкості отримання необхідної інформації.

Основним завданням логістичного центру під час формування раціональних напрямів руху є складання матриць вантажопотоків. Наразі відомі методи розрахунків та побудов схем руху описані в [1], [2].

Використанню сучасного програмного забезпечення в транспортних технологіях приділяло увагу багато вчених [3], [6], [8]. Основним завданням у формулюванні задачі дослідження є отримання оптимальних достовірних даних для забезпечення певного процесу у сфері транспортних технологій. У роботі [1] автор використовує програмне забезпечення для побудови оптимального плану транспортування вантажів методом потенціалів, який, зі свого боку, реалізований за використання Borland C++ Builder. Останній дозволяє швидко знаходити розв'язання транспортних задач, використовуючи метод потенціалів. Але під час програмування описаний у роботі алгоритм є достатньо складним, що може призвести до виникнення помилок та отримання недостовірних даних. Тому для використання цього програмного продукту важливо мати чітке розуміння транспортної задачі, розв'язання якої необхідне для оптимізації виробничих задач.

У роботі [2], [5], [9] описані можливі варіанти використання програмного забезпечення на базі Microsoft Excel для розв'язання транспортних задач. Авторами запропоновано достатньо простий алгоритм, який може використовувати фахівець з мінімальними знаннями програмування математичних виразів.

Результати досліджень

Для розв'язання транспортної задачі потрібно сформувати раціональні напрями руху за таких умов: з трьох вантажовідправних пунктів A1, A2, A3 необхідно перевезти однорідний вантаж чотирьом споживачам B1, B2, B3, B4. Кількість вантажу в пункті A1 = 200 т, у пункті A2 = 400 т, A3 = 700 т. Попит споживачів на такий вантаж становить: B1 = 100 т, B2 = 350 т, B3 = 550 т, B4 = 300 т. Відстані між вантажовідправниками й вантажоодержувачами подані в табл. 1.

Таблиця 1

Відстані між вантажовідправними й вантажоприймальними пунктами

Вантажовідправні пункти	Відстань до вантажоприймальних пунктів, км			
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄
A1	9	5	7	3
A2	3	11	5	6
A3	1	10	3	7

Необхідно так закріпити споживачів вантажу за вантажоодержувачами, щоб загальна транспортна робота була мінімальною (показник критерію оптимальності — відстань).

Для вирішення завдання позначимо через x кількість тонн вантажу, який має бути перевезено від i -го постачальника j -му споживачеві. Тоді математична модель задачі виразиться системою рівнянь (1), а цільова функція, що є сумою добутків відстаней на відповідний обсяг перевезень вантажу в тоннах — рівнянням (2).

$$\begin{cases} x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} = 200, \\ x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} = 400, \\ x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} = 700, \\ x_{11} + x_{21} + x_{31} = 100, \\ x_{12} + x_{22} + x_{32} = 350, \\ x_{13} + x_{23} + x_{33} = 550, \\ x_{14} + x_{24} + x_{34} = 300. \end{cases} \quad (1)$$

Необхідно мінімізувати суму:

$$9x_{11} + 5x_{12} + 7x_{13} + 3x_{14} + 3x_{21} + 11x_{22} + 5x_{23} + 6x_{24} + 1x_{31} + 10x_{32} + 3x_{33} + 7x_{34}. \quad (2)$$

Отримана система рівнянь (1) є лінійно залежною, адже будь-яке її рівняння можна представити у вигляді лінійної комбінації інших рівнянь. Дійсно, якщо з суми рівнянь рядків 1, 2, 3 відняти суму рівнянь рядків 4, 5, 6, то отримаємо рівняння рядка 7 і т. д. Число лінійно незалежних рівнянь має бути менше на одне загального числа рівнянь у системі, тобто базис системи має дорівнювати кількості рівнянь у системі обмежень за вирахуванням одиниці.

З огляду на те, що загальне кількість рівнянь у системі визначається сумою кількості постачальників і споживачів, у базисі має бути вираз

$$m + n - 1, \quad (3)$$

де m — кількість постачальників; n — кількість споживачів.

Для розв'язання транспортної задачі методом потенціалів складається базисний план, який заноситься в таблицю, яка називається матрицею розподільчого методу. Матриця — прямокутна таблиця чисел, що складається з m рядків і n стовпців, у якій на перетині рядків і стовпців, зазвичай, в правих верхніх кутах, вказується відстань між цим постачальником і споживачем (у загальному випадку вказується показник цільової функції).

До базисного плану використовують такі вимоги: він повинен бути допустимим, містити $(m + n - 1)$ завантажених клітин, щоб завантажені клітинки розташовувалися в порядку викреслювання комбінації. Для скорочення кількості можливих розрахунків в подальшому бажано, щоби базисний план був якомога ближчим до оптимального.

Нагадаємо, що план вважається допустимим, якщо всі можливості постачальниками використовуються, а попит усіх споживачів задовольняється. Однак для розв'язання транспортної задачі методом потенціалів (або будь-яким іншим методом лінійного програмування) необхідно, щоби матриця мала певну кількість завантажених клітин, і щоби завантажені клітини розташовувалися в порядку викреслювання комбінації.

Число невідомих x у задачі дорівнює добутку числа рядків на число стовпців n . Максимальна кількість рівнянь, яку можна отримати, розв'язуючи транспортну задачу, визначається сумою постачальників і споживачів, тобто $m + n$. У цьому випадку, як показано вище, система рівнянь є лінійно залежною. Для розв'язання транспортної задачі базис системи повинен містити $(m + n - 1)$ рівнянь, а отже, в матриці має бути $(m + n - 1)$ завантажених клітин.

Умова викреслювання комбінації завантажених клітин означає, що, коли послідовно проходячи по рядках і стовпцях матриці, можна викреслити всі значення клітини, то їх комбінація вважається викресленою. При цьому завантажена клітинка викреслюється, якщо вона єдина у своєму рядку або своєму стовпці.

Ця задача авторами розв'язана за використання програмного забезпечення Microsoft Excel.

Існує безліч методів, які доцільно використовувати, як перевірку отриманих результатів, або першочергово використовувати для отримання маршруту вантажопотоків, а саме: метод потенціалів, північно-західного кута, спосіб найменшого елемента по стовпцю (рядку) та спосіб апроксимації Фогеля. Цікаво, що будь-який з цих методів достатньо легко можна записати в Excel та в подальшому використовувати для будь-яких даних.

Аналізуючи вищеперераховані методи найточнішим, на нашу думку, є метод потенціалів, який і розглянемо далі.

Базисний план вийшов кращим (транспортна робота скоротилася), однак не можна сказати, чи є він оптимальним. Для відповіді на це питання, необхідно складений базисний план перевірити за цією ознакою. Для чого розроблено кілька методів, наприклад, метод потенціалів, метод МОДІ, Хічкока, Креко.

Ідея методу потенціалів визначена Л. В. Канторовичем у 1940 р. У 1951 р. американський вчений Дж. Д. Данциг запропонував ту ж ідею, назвавши її модифікованим розподільчим методом (МРМ) [11], [12].

Ідея методу потенціалів, або методу МРМ, полягає в тому, що для перевірки допустимого базисного плану на оптимальність, визначаються особливим чином числа, названі потенціалами.

Головна вимога до потенціалу полягає в тому, щоб кожний показник a_{ij} у завантаженій клітці дорівнював сумі потенціалів своїх рядків і стовпців

$$a_{ij} = U_i + V_j, \quad (4)$$

де U_i — значення потенціалу рядка; V_j — значення потенціалу стовпчика.

Абсолютно байдуже, з якого рядка або стовпця починати визначення потенціалів, а також, яким за величиною взятий перший за рахунком потенціал, адже довільно визначається тільки перший потенціал. Усі інші потенціали жорстко пов'язані з ним, і після того як перший потенціал встановлено, він визначається єдиною можливим способом. Певні потенціали рядків і стовпців повинні забезпечити значення потенціалів завантажених клітин рівними нулю.

Потенціали незавантажених клітин визначаються за формулою

$$E_{ij} = a_{ij} - (U_i + V_j), \quad (5)$$

де a_{ij} і E_{ij} — показник і потенціал вільної клітинки, відповідно.

В процесі розв'язання задач мінімізації, оптимальний варіант допустимого плану отримується в тому випадку, коли у всіх завантажених клітинах стоять нульові потенціали, а потенціали всіх вільних клітин є позитивними величинами. Наявність вільних клітин з негативним значенням потенціалів показує, що є резерви поліпшення варіанта рішення.

В процесі вирішення завдань на максимум оптимальний варіант допустимого плану отримується тоді, коли у всіх завантажених клітинах стоять нульові потенціали, а потенціали всіх вільних клітин є негативними величинами.

Перевіримо на оптимальність базисний план, складений способом найменшого елемента по стовпцю. Для цього матрицю розподільного методу доповнимо одним стовпцем і рядком (табл. 2).

Таблиця 2

Перевірка базисного плану методом потенціалів

Вантажовідправні пункти	Вантажоотримувальні пункти				Разом	потенціали рядків	
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄			
A1	9	5	7	200	3	0	
		[+]			[-]		
A2	3	300	11	5	100	6	3
		[-]			[+]		
A3	1	10	3		7	2	
	100	50	550		700		
Разом	100	350	550	300	1300	—	
потенціали стовпців	-1	8	1	3	—	—	

Поставимо в рядку A1 величину потенціалу, що дорівнює нулю. Тоді, за формулою (4), потенціал стовпчика B₂ буде дорівнювати 3. Потенціал рядка A3 буде дорівнювати 2, а стовпця B₃ буде дорівнювати 1 і т.д. Потенціали інших клітин знаходимо за формулою (5).

У результаті перевірки допустимого плану на оптимальність отримана клітина A₂-B₂, що має негативний потенціал. Це вказує на те, що план неоптимальний, і необхідно виконати перерозподіл закріплення постачальників за споживачами. Це виконується побудовою контуру. Контуром називається замкнута ламана лінія, утворена прямими відрізками, кути з'єднань між якими рівні 90°. Будується контур так, щоб всі кути, крім одного, розташовувалися в завантажених клітинах, а один кут — у вільній, найбільш потенційній клітинці. За дотримання цих правил для кожної вільної клітинки можна побудувати тільки один контур. Визначають позитивні (+) і негативні (-) кути контуру. Перший позитивний кут лежить в незавантаженій клітинці, для якої будується контур, поруч з ним знаходяться негативні кути і т.д. [1].

Визначається найменш завантажена клітинка, зайнята негативним кутом контуру. Кількість вантажу, вказана в цій клітинці, віднімається з усіх клітин, зайнятих негативними кутами контуру, і додається в усі клітини контуру з позитивними кутами.

Раніше завантажені клітини, які не опинилися розташованими в кутах контуру, переносяться в матрицю нового варіанта закріплення вантажоспоживачів за постачальниками без зміни (табл. 3).

Перевірка цього варіанта допустимого плану показує, що отриманий оптимальний план, як і всі незавантажені клітини, має позитивні потенціали, а потенціали завантажених клітин дорівнюють нулю.

Обсяг транспортної роботи за оптимального закріплення поставників за споживачами становить

$$100 \cdot 1 + 200 \cdot 5 + 100 \cdot 11 + 50 \cdot 10 + 550 \cdot 3 + 300 \cdot 6 = 6150 \text{ т/км.}$$

Таблиця 3

Виправлений варіант закріплення споживачів вантажу за постачальниками

Вантажовідправні пункти	Вантажоотримувальні пункти				Разом	потенціали рядків
	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄		
A1	9	5	7	3	200	0
A2	3	11	5	6	400	6
A3	1	10	3	7	700	5
Разом	100	350	550	300	1300	—
потенціали стовпців	-4	5	-2	0	—	—

У подальшому для розв'язання логістичної задачі будують матрицю маршрутів перевезення та складають кільцеві маршрути.

Висновок

Розглянувши вищевикладені способи розрахунку та побудови матриць маршрутів, автори дійшли висновку, що оптимальним є метод потенціалів. Цей метод дає можливість побудувати найбільш економічно обґрунтований маршрут з використанням найменшої відстані руху. Загальна дистанція за використання метода потенціалів склала 6150 т/км, що порівняно з іншими способами економить близько 10...15 % пального за рахунок скорочення дистанції руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] С. К. Бешекенов, *Програмное обеспечение решения задач метод потенциалов*. Колледж електроніки і бізнесу ОГУ, Оренбург, РФ, 2015. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://files.scienceforum.ru/pdf/2015/13063.pdf>.
- [2] В. Н. Кудашов, і Е. Г. Селина, *Основы линейного программирования*. СПб, РФ: Университет ИТМО, 2020, 42 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2588.pdf>.
- [3] С. В. Будалин, *Планирование перевозок массовых и мелкопартионных грузов*, метод. указання. Екатеринбург, РФ: УГЛТУ, 2013, 36 с.
- [4] А. В. Вельможин, В. А. Гудков, Л. Б. Миротин, і А. В. Куликов, *Грузовые автомобильные перевозки*, учебник для вузов. *Горячая линия* – Телеком, 2007, 560 с.
- [5] О. О. Соларьов, М. О. Мікуліна, і О. В. Таценко, «Основні фактори, які впливають на побудову транспортних розв'язок.» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 1, с. 102-107, 2021. doi.org/10.31649/1997-9266-2021-154-1-102-107.
- [6] М. О. Мікуліна, О. О. Соларьов, і О. В. Таценко, «Роль складської інфраструктури в транспортних технологіях для аграрного виробництва.» *Інженерія природокористування*, № 4 (18), с. 29-34, 2020.
- [7] М. О. Mikulina, O. O. Solarov, and O. V. Tatsenko, "The analysis and forecasting of passenger traffic on road transport," *Engineering of nature management*, 1 (19), pp. 21-26, 2021.
- [8] Н. Шраменко, В. Шраменко, і О. Соларьов, «Аналіз ринку вантажних перевезень в Україні.» *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, т. 1, № 16 (2021), с. 30-35, 2021.
- [9] О. О. Соларьов, М. О. Мікуліна, і О. В. Таценко, «Розрахунок пропускної здатності автомобільного потоку на транспортній розв'язці.» *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*, № 1 (7), с. 54-58, 2021. doi: <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2021.01.08>.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 31.05.2021

Старіков Андрій Ігорович — студент інженерно-технологічного факультету, e-mail: lmcsan@i.ua;
Соларьов Олександр Олексійович — канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів, сільськогосподарських машин та транспортних технологій, e-mail: lmcsan@i.ua ;
Мікуліна Марина Олександрівна — канд. екон. наук, доцент кафедри експлуатації техніки, e-mail: marinamikulina1@ukr.net ;
Тарельник Наталія В'ячеславівна — канд. екон. наук, доцент кафедри проектування технічних систем, e-mail: natasha-tarelnik@ukr.net ;
Таценко Олександр Володимирович — старший викладач кафедри експлуатації техніки, e-mail: alexatzenko@ukr.net

A. I. Starikov¹
O. O. Solarov¹
M. O. Mikulina¹
N. V. Tarelnik¹
O. V. Tatsenko¹

Using Different Approaches to Solving Logistics Tasks

¹Sumy National Agrarian University

The article discusses the factors that influence the construction of transport interchanges and design software. It is important to remember that traffic safety is a necessary component for road traffic, so all the components listed in the article and the elements of the transport interchange of the required section must meet the general requirements. Today, the requirements for building technological solutions are constantly changing. First of all, this is facilitated by the constructive development of vehicles and, accordingly, the change of traffic regimes. The issue of designing transport interchanges is quite complex, as it is also necessary to take into account the intensive growth rate of the number of cars on the roads of our country. Traffic safety is a key issue when designing a transport interchange, so all design work must be carried out in strict compliance with regulations. The key factors to consider when designing a traffic interchange are: the speed of vehicles on adjacent roads and at exits; width of lanes for traffic and their number; the presence of slopes; the necessary capacity to meet the needs of the area. It is also important to pay close attention to the quality of the project, and subsequently to the construction of the transport interchange. There are a large number of examples that show that non-compliance with the requirements of technical documentation and quality of construction works leads to a reduction in the period of maintenance-free use of the building. Accordingly, the generally accepted method of designing a transport interchange includes the following steps: the choice of the basis of the type of intersections of transport routes; design and development of traffic diagrams, preparation of technical documentation; calculation of technical parameters of road crossings; design of auxiliary structures (drainage unit, lighting); profile design. Today, there is a large amount of software that allows you to perform the necessary calculations and build diagrams of transport interchanges. The most famous are such programs as: IndorCAD, AutoCad, MXROAD.

Keywords: route matrix, potential method, cargo transportation.

Starikov Andriy I. — Student of the Department of Engineering and Technology e-mail: lmcsan@i.ua;

Solarov Oleksandr O. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Tractors, Agricultural Machinery and Transport Technologies, e-mail: lmcsan@i.ua ;

Mikulina Maryna O. — Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor of the Chair of Engineering Operation, e-mail: marinamikulina1@ukr.net ;

Tarelnyk Natalia V. — Cand. Sc. (Econ.), Associate Professor of the Chair of Technical Systems Design, e-mail: natasha-tarelnik@ukr.net ;

Tatsenko Olexandr V. — Senior Lecturer of the Chair of Equipment Operation, e-mail: alextatsenko@ukr.net

А. И. Стариков¹
А. А. Соларёв¹
М. А. Микулина¹
Н. В. Тарельник¹
А. В. Таценко¹

Использование разных подходов к решению логистических задач

¹Сумской национальный аграрный университет

Формирование экономически обоснованного маршрута движения является одной из ключевых задач специалиста по транспортным технологиям. Составление обоснованной матрицы маршрута является важным элементом любого предприятия, задействованного в транспортном процессе. Целью составления маршрута движения является минимизация средств и персонала, необходимого для перевозки груза. Довольно часто именно удачно выбранные маршруты позволяют существенно повлиять на экономическую ситуацию производства, ведь расходы на горюче-смазочные материалы являются одними из самых больших. При формировании маршрута движения логистический центр часто сталкивается с таким явлением как «пустой пробег», который оказыва-

ет негативное влияние на экономический показатель. Наиболее широко маршрутизация может быть использована в торговле. Задачей маршрутизации является минимизация затрат на доставку товара потребителям. На сегодняшний день транспорт является одним из главных элементов в логистических системах, с его помощью производятся перемещения товаров или продуктов на любом предприятии в середине или между производствами. Развитие этого направления может позволить существенно сократить расходы, улучшить условия труда водителей и обслуживающего персонала.

Удачно спроектировать маршрут движения сегодня можно, используя современное программное обеспечение и известные математические алгоритмы, которые достаточно просто использовать в таких базах, как: Microsoft Excel или MathCad. В статье обоснован и выбран наиболее актуальный метод построения матрицы маршрута. Предложенный метод дает возможность быстрого накопления и обработки данных.

Главной задачей статьи является анализ современных методов построения матриц маршрутов для реального производства. Проанализировав известные методы построения матриц маршрута, определили, что наиболее удачным с экономической точки зрения является метод потенциалов, позволяющий минимизировать не только расходы, но и расстояния передвижений. Экономический эффект от использования метода потенциалов при построении матрицы маршрута составляет около 15 %.

Ключевые слова: матрица маршрута, метод потенциалов, перевозки грузов.

Стариков Андрей Игоревич — студент инженерно-технологического факультета, e-mail: lmcсан@i.ua;

Соларьов Александр Алексеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры тракторов, сельскохозяйственных машин и транспортных технологий, e-mail: lmcсан@i.ua ;

Микулина Марина Александровна — канд. экон. наук, доцент кафедры эксплуатации техники, e-mail: marinamikulina1@ukr.net ;

Тарельник Наталья Вячеславовна — канд. экон. наук, доцент кафедры проектирования технических систем, e-mail: natasha-tarelnik@ukr.net ;

Таценко Александр Владимирович — старший преподаватель кафедры эксплуатации техники, e-mail: alextatsenko@ukr.net