

УДК 519.852.35: 631.86: 656.025

doi:10.20998/2413-4295.2022.01.07

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ АВТОМОБІЛЬНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ МАСОВИХ ВАНТАЖІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ

М. М. МОРОЗ, В. Г. ЗАГОРЯНСЬКИЙ*, Т. В. ГАЙКОВА, І. О. КУЗЄВ

кафедра транспортних технологій, Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, м. Кременчук, УКРАЇНА
*e-mail: zagor_vlad@ukr.net

АНОТАЦІЯ Розроблено оптимізаційну модель із застосуванням методів лінійного програмування та мережного аналізу для визначення маршруту вантажних автомобілів при перевезеннях масового однорідного вантажу. Дослідження виконувалося шляхом економіко-математичного моделювання потоків однорідного масового вантажу між постачальником та кількома споживачами (на прикладі перевезень твердих органічних добрив від сховища до полів сівозміни та між ними). Встановлено, що обсяг автомобільних перевезень органічних добрив для доставки з місць зберігання на поля сівозміни у сільськогосподарських регіонах країни дуже великий. У сільськогосподарському виробництві дуже трудомістким і складним у плані організації, матеріально-грошових і трудових витрат є визначення оптимального маршруту перевезень, зокрема великих обсягів добрив. Витрати, пов'язані з перевезенням такої кількості добрив, дуже великі, що зумовлює необхідність оптимізації цього процесу. Виконано дослідження узагальнених потокових завдань у мережевій постановці на прикладі автомобільних перевезень твердих органічних добрив на поля сівозміни методами дослідження операцій. Оптимізувати параметри даного транспортного процесу можна за допомогою розробки його моделі з використанням методів лінійного програмування та мережевого аналізу та проведення розрахунків за нею. Маршрут перевезень, при якому сумарні витрати на автомобільні перевезення будуть мінімальними, буде оптимальним для транспортного процесу, що розглядається. Критерієм ефективності варіанта вибору (цільовою функцією математичної моделі) є сумарні витрати на перевезення даного обсягу вантажу від постачальника до кількох споживачів за умови їх мінімізації. Виділено фактори, що визначають дані витрати та розроблені розрахункові залежності для їх визначення. Набув подальшого розвитку комплексний метод оптимізації технології перевезень автомобільним транспортом органічних добрив у господарствах. Розроблена модель може бути використана підприємствами-постачальниками автотранспортних послуг, господарствами для збільшення обсягів та підвищення ефективності перевезень автомобільним транспортом добрив та інших масових вантажів. Представляється перспективною розробка за даною моделлю алгоритму та програми для визначення оптимального маршруту руху автомобілів для розподілу даного обсягу вантажу.

Ключові слова: органічні добрива; вантажні автомобілі; перевезення, витрати; модель; оптимізація; мережевий аналіз; лінійне програмування

THE USING OF OPERATIONS RESEARCH METHODS TO OPTIMIZE FREIGHT ROAD TRANSPORTATION IN THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX

M. MOROZ, V. ZAHORIANSKYI, T. HAIKOVA, I. KUZEV

Department of Transport Technologies, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, UKRAINE

ABSTRACT An optimization model has been developed using linear programming and network analysis methods to determine the route of trucks for the transportation of homogeneous mass cargo. The study was carried out by means of economic and mathematical modelling of flows of a homogeneous mass cargo between a supplier and several consumers (using the example of transporting solid organic fertilizers from a storage facility to crop rotation fields and between them). It has been established that the volume of road transport of organic fertilizers for delivery from storage sites to crop rotation fields in agricultural regions of the country is very large. In agricultural production, the process of determining the optimal transportation route, including large volumes of fertilizers, is very laborious and complex in terms of organization, material, financial, and labour costs. The costs associated with transporting such a quantity of fertilizers is very high, which necessitates the optimization of this process. The study of generalized flow problems in a network setting was carried out on the example of road transport of solid organic fertilizers to crop rotation fields using the methods of operations research. It is possible to optimize the parameters of this transport process by developing its model using the methods of linear programming and network analysis and performing calculations on it. The route of transportation, in which the total costs of road transportation will be minimal, will be optimal for the considered transport process. The criterion for the effectiveness of the choice (the objective function of the mathematical model) is the total costs of transporting a given volume of cargo from the supplier to several consumers, subject to their minimization. The factors that determine these costs are highlighted and calculated dependencies are developed to determine them. A comprehensive method for optimizing the technology of transporting organic fertilizers by road on farms has been further developed. The developed model can be used by enterprises-suppliers of road transport services, farms, to increase the volume and improve the efficiency of road transport of fertilizers and other bulk cargo. It seems promising to develop an algorithm and a program for this model to determine the optimal route of movement of vehicles for the distribution of a given volume of cargo.

Keywords: organic fertilizers; trucks; transportation; costs; model; optimization; network analysis; linear programming

Вступ

Використання сучасних наукових розробок, що дозволяють знаходити з безлічі можливих рішень

планово-економічних завдань, оптимальне є визначальним для ефективного планування та управління автомобільними вантажними перевезеннями.

До таких розробок відносяться математичне моделювання логістичних та транспортних процесів та економіко-математичні методи їх вирішення, що базуються на законах лінійної алгебри, математичного аналізу, теорії графів та математичної статистики. Реалізація цих методів та моделей немислима без використання сучасної комп'ютерної техніки та програмного забезпечення.

Планово-економічні задачі автомобільного транспорту, як будь-якої іншої галузі народного господарства, є багатофакторними з великою кількістю невідомих. Моделі розв'язання таких завдань, як правило, є невизначеними системами.

Аналіз основних досягнень і літератури

Знайти екстремум (максимум чи мінімум) планово-економічних задач автомобільного транспорту допомагають математичні методи, викладені, зокрема, у роботах [1–5].

Задачу застосування економіко-математичних методів при закріпленні споживачів за постачальниками, клієнтури – за автотранспортними підприємствами, із застосуванням методів вирішення задач маршрутизації перевезень вантажів, оптимізації використання та розподілу автомобілів та навантажувально-розвантажувальних засобів за маршрутами розглянуто в роботі [1]. Методи обліку ймовірнісних факторів під час планування роботи автотранспортних підприємств та застосування кореляційних моделей під час планування техніко-економічних показників розглянуто у дослідженні [2].

Питання складання оптимального плану вантажних перевезень, пошуку найкоротших відстаней на транспортній мережі, складання оптимального плану перевезень з урахуванням реальних транспортних зв'язків між постачальниками та споживачами, методи планування та управління мережами як інструмент раціональної організації транспортних процесів проаналізовано у роботі [3].

Методи та моделі ресурсного забезпечення діяльності автотранспортного підприємства, вибору логістичних посередників розглянуті в [4]. Наводяться методи оцінки економічних витрат виробництва логістичних послуг, приклади та завдання транспортної та складської логістики, а також розглядаються методи фінансово-економічної оцінки проектування та функціонування мікрологістичних систем підприємств.

Широке коло економіко-математичних методів та моделей логістики, у тому числі транспортної логістики: розв'язання задач оптимізації перевезень вантажів (планування маршруту доставки вантажу у змішаному сполученні на основі мережевого графіка, загальний алгоритм планування вантажних автомобільних перевезень, алгоритм прискореного планування автомобільних перевезень, алгоритм проектування системи доставки вантажів) представлено в [5].

Оптимізація перевезень виконується методами лінійного програмування і мережного аналізу [6–10].

Постановка задачі (проблеми)

Вантажами, які перевозяться (розподіляються) від одного постачальника (складу, сховища тощо) до декількох споживачів можуть бути: у сільському господарстві запаси насіння для висіву, необхідний об'єм добрив на поля, будівельних матеріалів для декількох місць будівельних робіт, тощо. Все це – узагальнені потокові задачі в мережній постановці.

Ці задачі пов'язані з однопродуктовим потоком, оскільки потоки в дугах мережі відповідають потокам деякого однорідного продукту. При вивченні характеристик мережі часто виникає необхідність обчислення оптимального значення функції потоку, що протікає від джерела мережі (початкового вузла) до її кінцевого вузла.

Мережа складається з множини N вузлів та множини дуг A , що з'єднують їх. Мережа може бути представлена у вигляді множини $G = (N, A)$. Потоком x_{ij} в орієнтованій мережі називається ціла функція, визначена на множині A . Значення x_{ij} можна розглядати як обсяг продукту (вантаж), що протікає по дузі (i, j) від вузла i до вузла j , причому цей обсяг не перевищує пропускну здатність c_{ij} дуги (i, j) .

Принцип збереження потоку: якщо вузол j не є ні джерелом (початковим вузлом), ні кінцевим вузлом, то величина потоку, що втікає в j повинна дорівнювати величині потоку, що витікає з цього вузла. У наведених вище задачах зберігається принцип збереження потоку.

Розглянемо, для прикладу, задачу оптимізації маршруту автомобільних перевезень твердих органічних добрив зі сховищ до полів.

Площа орних земель України становить 32,5 млн. га [11]. Органічних добрив, виходячи з умови забезпечення бездефіцитного балансу гумусу в орних ґрунтах, слід вносити близько 200 млн. тонн на рік.

До органічних добрив відносять [12] гній, підстилковий і безпідстилковий, гноївку, пташиний послід, компости, торф, відходи промисловості, органічні відходи комунального господарства, сапрпель, зелене добриво. Ці добрива називають місцевими, тому що їх не перевозять на велику відстань, а застосовують на місці отримання в господарствах.

Органічні добрива значною мірою відрізняються за впливом на врожай та родючість ґрунту. Гній – це повне органічне добриво, яке містить усі необхідні для рослин поживні елементи. Гній мінералізується після внесення в ґрунт під впливом мікроорганізмів.

Витрати, пов'язані з перевезенням такої кількості добрив, дуже великі, що обумовлює необхідність оптимізації даного процесу.

Задачу оптимізації маршруту автомобільних перевезень твердих органічних добрив з прифермських гноєсховищ до полів сівозміни можна

представити як мережу з обмеженою пропускною спроможністю, де прифермське гноєсховище і поля сівозміни будуть вузлами мережі, при чому гноєсховище – джерело мережі.

Існуючі методи розв’язання задачі

Ефективно вирішувати широкий клас поточкових задач дозволяє метод аналізу мереж, який має наступні переваги: для початку роботи не потрібно приймати допущення, можлива наочна інтерпретація, що не властиво для процедур лінійного програмування при числі вимірювань більше двох [13].

Основним елементом мережної діаграми є вузол. У даному випадку під вузлом будемо розуміти точку, що є джерелом або стоком деякого потоку, а також точку, я якій величина цього потоку змінюється. В першому випадку це фізичний об’єкт, що є початковим або кінцевим пунктом (наприклад, склад, сховище, підприємство, магазин і т.д.). Джерелом, таким чином, буде вузол, який породжує потік, а вузол, який поглинає потік (наприклад, споживач товару/вантажу, підприємство-замовник), буде стоком.

Лінії, що з’єднують різні вузли мережі, мають назву дуг. Якщо потік по дузі може протікати тільки в одному заданому напрямку, така дуга є орієнтованою. Мережею, таким чином, є зв’язна множина дуг і вузлів. Зазвичай вона використовується для опису фізичного процесу, в якому одиниці потоку рухаються з джерела (або джерел) в стік (або стоки).

Дуга має обмежену пропускну здатність якщо потік по дузі може приймати тільки певні значення, наприклад якщо задані верхня та/або нижня межі потоку. Мережа, що містить дуги з обмеженою пропускною спроможністю, має назву мережі з обмеженою пропускною спроможністю.

Якщо напрямок руху по дузі збігається з її орієнтацією, то дуга називається прямою. Якщо напрямок руху по дузі протилежний її орієнтації, то дуга називається зворотною.

Циркуляцією називається потік по дугам мережі, для якого в кожному вузлі виконується умова збереження, тобто сумарний потік, що входить у вузол, дорівнює сумарному потоку, що виходить з вузла. Для роботи алгоритму дефекту потрібно існування циркуляції; тому вихідна мережа, як правило, відповідним чином модифікується.

Так, для мереж, зображених на рис. 1 і 2, вводиться додаткова дуга, яка має назву зворотної, щоб з’єднати стік з джерелом.

На рис. 1 зображена мережа, в якій вузол 1 є джерелом, а вузол 4 – стоком. Мережа може містити кілька джерел і стоків. На рис. 2 зображена мережа, в якій вузли 2 і 3 є джерелами, а вузли 5 і 6 – стоками. До цієї мережі за допомогою пунктирних дуг додані вузли 1 і 7, що мають назву головного джерела і головного стоку відповідно. Способи побудови зворотної дуги залежать від виду мережі.

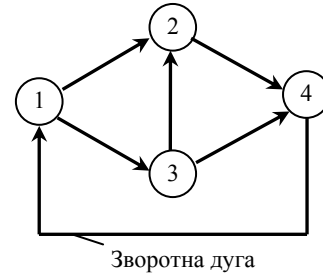


Рис. 1 – Замкнута мережа з одним джерелом і одним стоком [13]

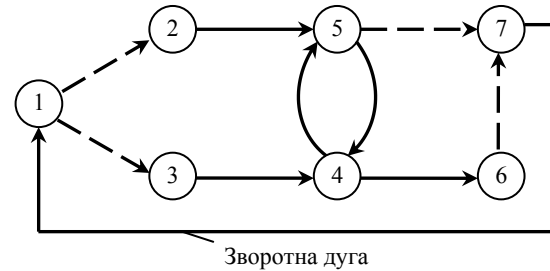


Рис. 2 – Замкнута мережа з додаванням головного джерела і головного стоку [13]

Для мережі з обмеженою пропускною спроможністю завжди задані верхні та нижні межі (які можуть бути рівними нулю або нескінченності) потоків по кожній дузі. Величина потоку по кожній дузі повинна лежати між верхньою і нижньою межами, і це обмеження, як і всі інші, не повинно порушуватися. Будемо використовувати такі позначення: x_{ij} – потік по дузі (i, j), U_{ij} – верхня пропускну здатність дуги (i, j), L_{ij} – нижня пропускну здатність дуги (i, j), c_{ij} – вартість проходження одиниці потоку з вузла i у вузол j.

Мета роботи

Розробка оптимізаційної математичної моделі процесу перевезень масових вантажів вантажними автомобілями на основі застосування методів мережного аналізу та лінійного програмування та її практична реалізація на прикладі перевезень твердих органічних добрив від сховища до полів.

Виклад основного матеріалу

Для виконання умови циркуляції в мережі вводиться зворотна дуга, що з’єднує джерело-сховище 1 з вузлом 5 – головним стоком транспортної системи (рис. 3). Вузли 2, 3, 4 на рис. 3 – відповідно поля сівозміни 1, 2, 3. Дуги, що з’єднують вузли, мають обмежену пропускну здатність, задану верхньою (U) і нижньою (L) межами.

Витрати на транспортування одиниці вантажу (органічних добрив) від сховища-джерела 1 до споживачів (поля 1, 2 і 3) – вузли 2, 3 і 4 складають c_{12} , c_{13} і c_{14} грошових одиниць відповідно, від поля 1 до поля 2 – c_{23} (c_{32}), від поля 2 до поля 3 – c_{34} (c_{43}) грошових одиниць.

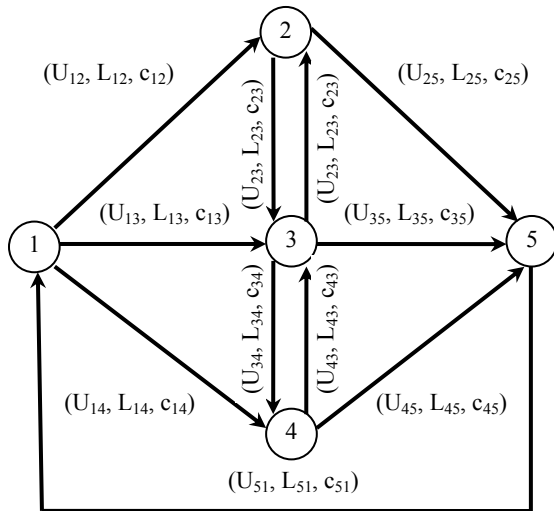


Рис. 3 – Приклад мережі з одним джерелом і трьома вузлами

Позначимо загальний об'єм перевезень – X одиниць, обсяг перевезень від постачальника до споживача I становить X_1 одиниць, II – X_2 одиниць, III – X_3 одиниць. Потрібно визначити маршрут перевезень (оптимальну циркуляцію) при якому буде забезпечено мінімальну сумарну вартість перевезень.

Дана задача може бути зведена до задачі лінійного програмування [13]. Розглянемо орієнтовану дугу, що сполучає вузол i з вузлом j . Нехай x_{ij} – величина потоку по цій дузі. Будемо припускати, що:

1. $x_{ij} = 0$, якщо потік по дузі відсутній;
2. $x_{ij} > 0$, якщо потік протікає з вузла i у вузол j .

Потокова задача, що розглядається, може бути сформульована у вигляді спеціальної задачі лінійного програмування. Оскільки вартість проходження одиниці потоку по дузі (i, j) дорівнює c_{ij} , то задача мінімізації сумарної вартості формулюється так:

$$\sum_{(i,j) \in S} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

при обмеженнях на пропускні спроможності дуг

$$\begin{aligned} x_{ij} &\leq U_{ij}, & (i, j) \in S, \\ x_{ij} &\geq L_{ij}, & (i, j) \in S \end{aligned} \quad (2)$$

Для того щоб кількість вантажу, що надходить в вузол, дорівнювала кількості вантажу, що виходить з цього вузла, потрібно виконання умови збереження потоку, тобто для всіх $i \in N$ (N – кількість вузлів мережі), $i \neq j$:

$$\sum_{j \in N} x_{ji} - \sum_{j \in N} x_{ij} = 0 \quad (3)$$

Крім того, потрібно, щоб потоки були невід'ємними: $x_{ij} \geq 0$ для всіх дуг (i, j) .

Задача знаходження циркуляції, що має мінімальну вартість, представляється, таким чином, у вигляді спеціальної задачі лінійного програмування.

Саме на основі цього основного формулювання описується алгоритм дефекту. При цьому використовуються умови оптимальності, які випливають з теорії двоїстості лінійного програмування. Перепишемо наведені вище цільову функцію і обмеження в більш зручній формі (S – кількість дуг мережі):

$$\sum_{(i,j) \in S} -c_{ij} f_{ij} \quad (4)$$

при обмеженнях:

1) умова збереження потоку (для всіх $i \in N, i \neq j$):

$$\sum_{j \in N} x_{ij} - \sum_{j \in N} x_{ji} = 0, \quad (5)$$

2) обмеження на потоки зверху:

$$x_{ij} \leq U_{ij}, \quad (6)$$

3) обмеження на потоки знизу:

$$-x_{ij} \leq -L_{ij}, \quad (7)$$

4) умова невід'ємності потоку:

$$x_{ij} \geq 0. \quad (8)$$

У даному формулюванні для зручності подальшого опису алгоритму цільова функція помножена на -1 . При цьому задача мінімізації трансформувалася в задачу максимізації, яку будемо називати прямою задачею. Відповідно до відомого в лінійному програмуванні результату, для будь-якої прямої задачі існує відповідна їй двоїста задача.

У цьому випадку двоїста задача формулюється наступним чином:

$$\sum_{(i,j) \in S} U_{ij} \alpha_{ij} - L_{ij} \delta_{ij} \quad (9)$$

за умов, що (для всіх $(i, j) \in S$)

$$\pi_i - \pi_j + \alpha_{ij} - \delta_{ij} \geq -c_{ij}, \quad (10)$$

$$\alpha_{ij} \geq 0, \quad (11)$$

$$\delta_{ij} \geq 0, \quad (12)$$

π_i не мають обмежень по знаку для всіх $i \in N$.

У такому формулюванні змінні π відповідають обмеженням, що описують умову збереження потоку для прямої задачі, і можуть приймати довільні значення, оскільки ці обмеження мають вигляд рівностей. Змінні α в двоїстій задачі відповідають обмеженням зверху на потоки по дугам в прямій задачі, а змінні δ – обмеженням знизу. Кожній змінній x_{ij} в прямій задачі відповідає деяке обмеження в двоїстій задачі.

У нашому випадку (рис. 3) з джерела 1 до стоку 5 по мережі потрібно доставити X одиниць вантажу. Кожній дузі (i, j) мережі приписано трійку (U_{ij}, L_{ij}, c_{ij}) . Для цієї задачі необхідно замкнути вихідну мережу, додавши до неї зворотну дугу $(5, 1)$. Величина потоку, який потрібно доставити з джерела 1 до стоку 5, буде дорівнювати величині потоку по дузі $(5, 1)$ і тому визначити її можна, вважаючи $U_{51} = L_{51} = X = x_{51}$. Вартість одиниці потоку по дузі $(5, 1)$ має бути нульовою: $c_{51} = 0$.

Пряма задача для цього прикладу формулюється так:

– цільова функція (відмітимо, що за умовами задачі $c_{23} = c_{32}$ і $c_{34} = c_{43}$):

$$-c_{12}x_{12} - c_{13}x_{13} - c_{14}x_{14} - c_{23}x_{23} - c_{32}x_{32} - c_{34}x_{34} -$$

$$-c_{43}x_{43} \rightarrow \max,$$

– вузли:

$$x_{12} + x_{13} + x_{14} - x_{51} = 0,$$

$$x_{23} + x_{25} - x_{32} - x_{12} = 0,$$

$$x_{32} + x_{35} + x_{34} - x_{13} - x_{43} = 0,$$

$$x_{43} + x_{45} - x_{34} - x_{14} = 0,$$

$$-x_{25} - x_{35} - x_{45} + x_{51} = 0,$$

– верхні межі: $x_{12} \dots x_{43} \leq X, x_{25} \leq X_1, x_{35} \leq X_2, x_{45} \leq X_3, x_{51} \leq X,$

– нижні межі: $x_{12} \dots x_{45} \geq 0, x_{51} \geq 15.$

Зазначимо, що при прямих перевезеннях з гноєховища до кожного поля сумарні витрати дорівнюють $c_{12} \cdot x_{12} + c_{13} \cdot x_{13} + c_{14} \cdot x_{14}$.

Оптимізація за критерієм мінімальної вартості перевезень виконана з використанням інструменту Solver (Пошук рішення), що входить до програмного продукту Microsoft Excel [14]. В якості змінних обрані величини потоку по дугах мережі.

Оптимальній циркуляції відповідає наступний маршрут: весь об'єм X органічних добрив перевозиться до поля 2 (вузол 3), потім об'єм X_1 транспортується до поля 1 (вузол 2) і об'єм X_3 – до поля 3 (вузол 4).

Висновки

На основі методів мережного аналізу та лінійного програмування розроблена оптимізаційна модель, що дозволяє визначити оптимальний маршрут перевезень однорідного продукту (вантажу) від постачальника до декількох споживачів, у тому числі й між ними.

Здійснення раціональної організації використання автомобільних транспортних засобів в агропромисловому комплексі необхідне у зв'язку з тим, що транспортний фактор в умовах ринку спричиняє значний вплив на ефективність сільськогосподарського виробництва. Таке використання дозволить не тільки краще використовувати автотранспортні засоби, але і сприятиме розвитку агропромислового сектора економіки і буде позитивно впливати на ефективність його діяльності, розвиток села у цілому.

Список літератури

1. Medvediev I., Muzylyov D., Shramenko N., Eliseyev P., Ivanov V. Design logical linguistic models to calculate necessity in trucks during agricultural cargoes logistics using fuzzy logic. *Acta Logistica*. 2020. Vol. 7(3). P. 155–166. doi: 10.22306/al.v7i3.165.
2. Shramenko N., Muzylyov D., Shramenko V. Rationalization of Grain Cargoes Transshipment in Containers at Port Terminals: Technology Analysis and Mathematical Formalization. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2021. P. 96–105. doi: 10.1007/978-3-030-68014-5_10.
3. Рахмангулов А. Н. *Методы оптимизации транспортных процессов: учеб. пособие*. Магнитогорск: МГТУ им. Г. И. Носова, 1999. 114 с.
4. Лукинський В. С. и др. *Модели и методы теории логистики (прогнозирование, расчет запасов, решение задач оптимизации перевозок грузов): учебное пособие*. Москва [и др.]: Питер, 2007. 447 с.
5. Плоткин Б. К., Делюкин Л. А. *Экономико-математические методы и модели в логистике: учебное пособие*. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та экономики и финансов, 2010. 95 с.
6. Жлуктенко В. І., Тарасова Л. Г., Савіна С. С. *Дослідження операцій: навч. посіб.* Київ: КНЕУ, 2009. 479 с.
7. Trunina I., Moroz M., Zahorianskyi V., Zahorianskaya O., Moroz O. Management of the logistics component of the grain harvesting process with consideration of the choice of automobile transport technology based on the energetic criterion. *2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES): materials* (Kremenchuk, September 21–24, 2021). IEEE. 2021. P. 1–5. doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598768.
8. Zagoryanskii V., Zagoryanskaya O., Haykova T., Khorolskii V. The model of vehicle optimum quantity for grain crop harvesting under the conditions of farming in Poltava region. *SHS Web of Conferences*. 2019. Vol. 67. P. 1–6. doi: 10.1051/shsconf/20196703013.
9. Загорянський В. Г. та ін. Визначення оптимальної кількості автомобілів для збирання врожаю зернових на прикладі господарства Полтавської області. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2020. № 18. С. 6–16.
10. Aulin V., Hrynkiv A., Lyashuk O., Ratynskyi V., Lavrentieva O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the Uvk Ukraine company transport and logistics center. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*. 2020. Vol. 22(2). P. 3–14. doi: 10.26552/com.C.2020.2.3-14.

11. По площади пахотных земель Украина занимает 9-е место в мире. Агропортал Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/po-ploshchady-pahotnyh-zemel-ukrayna-zanymaet-9-e-mesto-v-myre> (дата звернення: 13.08.2021).
12. Марчук І. У. на ін. *Добрива та їх використання: довідник*. Київ: Арістей, 2011. 254 с.
13. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. *Методы анализа сетей*. Москва: Мир, 1984. 496 с.
14. Постановка задачи и решение проблемы с помощью процедуры поиска решения. *Microsoft Office*: веб сайт. URL: <http://office.microsoft.com/ru-ru/excel-help/HP010072691.aspx> (дата звернення: 10.11.2021).
7. Trunina I., Moroz M., Zahorianskyi V., Zahorianskaya O., Moroz O. Management of the logistics component of the grain harvesting process with consideration of the choice of automobile transport technology based on the energetic criterion, *2021 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*, materials (Kremenchuk, September 21–24, 2021). IEEE, 2021, pp. 1–5, doi: 10.1109/MEES52427.2021.9598768.
8. Zagoryanskii V., Zagoryanskaya O., Haykova T., Khorolskii V. The model of vehicle optimum quantity for grain crop harvesting under the conditions of farming in Poltava region. *SHS Web of Conferences*, 2019, Vol. 67, pp. 1–6, doi: 10.1051/shsconf/20196703013.
9. Zahoryans'kyi V. et al. Vyznachennya optymal'noyi kil'kosti avtomobiliv dlya zbyrannya vrozhayu zernovykh na prykladi hospodarstva Poltav'skoyi oblasti [Determination of the optimal number of cars for harvesting grain on the example of the economy of poltava region], *Tekhnichnyy servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv [Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes]*, 2020, no. 18, pp. 6–16.
10. Aulin V., Hrynkiv A., Lyashuk O., Ratynskiy, V., Lavrentieva, O. Increasing the functioning efficiency of the working warehouse of the Uvk Ukraine company transport and logistics center. *Communications - Scientific Letters of the University of Zilina*, 2020, Vol. 22 (2), pp. 3–14, doi: 10.26552/com.C.2020.2.3-14.

References (transliterated)

1. Medvediev I., Muzylyov D., Shramenko, N., Eliseyev, P., Ivanov V. Design logical linguistic models to calculate necessity in trucks during agricultural cargoes logistics using fuzzy logic. *Acta Logistica*, 2020, Vol. 7(3), pp. 155–166, doi: 10.22306/al.v7i3.165.
2. Shramenko N., Muzylyov D., Shramenko V. Rationalization of Grain Cargoes Transshipment in Containers at Port Terminals: Technology Analysis and Mathematical Formalization. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2021, pp. 96–105, doi: 10.1007/978-3-030-68014-5_10.
3. Rakhmangulov A. N. *Metody optimizatsii transportnykh protsessov: ucheb. posobiye*. Magnitogorsk, MGTU im. G. I. Nosova, 1999. 114 p.
4. Lukinskiy V. S. Et al. *Modeli i metody teorii logistiki (prognozirovaniye, raschet zapasov, resheniye zadach optimizatsii perevozok gruzov): uchebnoye posobiye [Models and methods of logistics theory (forecasting, inventory calculation, solving problems of optimization of cargo transportation): a textbook]*. Moskva [i dr.], Piter, 2007, 447 p.
5. Plotkin B. K., Delyukin L. A. *Ekonomiko-matematicheskiye metody i modeli v logistike: uchebnoye posobiye [Economic and mathematical methods and models in logistics: a textbook]*. Sankt-Peterburg, Izd-vo Sankt-Peterburgskogo gos. un-ta ekonomiki i finansov, 2010, 95 p.
6. Zhluktenko V. Í., Tarasova L. G., Savina S. S. *Doslidzhennya operatsiy: navch. posib*. Kyiv, KNEU, 2009, 479 p.
11. Po ploshchadi pakhotnykh zemel' Ukraina zanimayet 9-ye mesto v mire. Agroportal Propozitsiya [In terms of arable land area, Ukraine ranks 9th in the world. Agroportal Offer]. Available at: <https://propozitsiya.com/po-ploshchady-pahotnyh-zemel-ukrayna-zanymaet-9-e-mesto-v-myre> (accessed: 13.08.2021).
12. Marchuk Í. U. et al. *Dobriva ta ikh vikoristannya: dovidnik [Fertilizers and their use: reference book]*, Kyiv, Aristey, 2011, 254 p.
13. Fillips D., Garsia-Dias A. *Metody analiza setey [Network Analysis Methods]*, Moskva, Mir, 1984, 496 p.
14. Postanovka zadachi i resheniye problemy s pomoshch'yu protsedury poiska resheniya Microsoft Office [Problem statement and problem solving with the help of the solution procedure]. Available at: <http://office.microsoft.com/ru-ru/excel-help/HP010072691.aspx> (accessed: 10.11.2021).

Відомості про авторів (About authors)

Мороз Микола Миколайович – доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, завідувач кафедри транспортних технологій; м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0001-6107-1230; e-mail: mykolai.moroz@gmail.com.

Мороз Микола – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Chief of Department of Transport Technologies, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6107-1230; e-mail: mykolai.moroz@gmail.com.

Загорянський Володимир Георгійович – доктор технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри транспортних технологій; м. Кременчук, Україна; ORCID: 0000-0002-5607-7571; e-mail: zagor_vlad@ukr.net.

Zahorianskyi Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Associate Professor of Department of Transport Technologies, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5607-7571; e-mail: zagor_vlad@ukr.net.

Гайкова Тетяна Владиславівна – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, доцент кафедри транспортних технологій; м. Кременчук, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6972-3210>; e-mail: tanyahaikova@ukr.net.

Haikova Tetiana – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, Associate Professor of Department of Transport Technologies, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6972-3210>; e-mail: tanyahaikova@ukr.net.

Кузев Ігор Олегович – старший викладач кафедри транспортних технологій Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського; м. Кременчук, Україна; Населений пункт: м. Кременчук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3403-7069>; e-mail: igor-kuzev@ukr.net.

Kuzev Igor – Senior Lecturer of Department of Transport Technologies, Kremenchuk, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3403-7069>; e-mail: igor-kuzev@ukr.net.

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мороз М. М., Загорянський В. Г., Гайкова Т. В., Кузев І. О. Використання методів дослідження операцій для оптимізації автомобільних перевезень масових вантажів в агропромисловому комплексі. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2022. № 1 (11). С. 44-50. doi:10.20998/2413-4295.2022.01.07.

Please cite this article as:

Moroz M., Zahorianskyi V., Haikova T., Kuzev I. The using of operations research methods to optimize freight road transportation in the agroindustrial complex. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2022, no. 1(11), pp. 44-50, doi:10.20998/2413-4295.2022.01.07.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Мороз Н. Н., Загорянский В. Г., Гайкова Т. В., Кузев И. О. Использование методов исследования операций для оптимизации грузовых автомобильных перевозок в агропромышленном комплексе. *Вестник Национального технического университета «ХПИ»*. Серия: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». 2022. № 1 (11). С. 44-50. doi:10.20998/2413-4295.2022.01.07.

АННОТАЦИЯ Разработана оптимизационная модель с применением методов линейного программирования и сетевого анализа для определения маршрута грузовых автомобилей при перевозках массового однородного груза. Исследование выполнялось путем экономико-математического моделирования потоков однородного массового груза между поставщиком и несколькими потребителями (на примере перевозок твердых органических удобрений от хранилища к полям севооборота и между ними). Установлено, что объем автомобильных перевозок органических удобрений для доставки из мест хранения на поля севооборота в сельскохозяйственных регионах страны весьма велик. В сельскохозяйственном производстве весьма трудоемким и сложным в плане организации, материально-денежных и трудовых затрат является процесс определения оптимального маршрута перевозок, в том числе больших объемов удобрений. Затраты, связанные с перевозками такого количества удобрений, очень большие, что обуславливает необходимость оптимизации данного процесса. Выполнено исследование обобщенных потоковых задач в сетевой постановке на примере автомобильных перевозок твердых органических удобрений на поля севооборота методами исследования операций. Оптимизировать параметры данного транспортного процесса можно с помощью разработки его модели с использованием методов линейного программирования и сетевого анализа и проведения расчетов по ней. Маршрут перевозок, при котором суммарные затраты на автомобильные перевозки будут минимальными, будет оптимальным для рассматриваемого транспортного процесса. Критерием эффективности варианта выбора (целевой функцией математической модели) служат суммарные затраты на перевозки данного объема груза от поставщика к нескольким потребителям при условии их минимизации. Выделены факторы, определяющие данные затраты и разработаны расчетные зависимости для их определения. Получил дальнейшее развитие комплексный метод оптимизации технологии перевозок автомобильным транспортом органических удобрений в хозяйствах. Разработанная модель может быть использована предприятиями-поставщиками автотранспортных услуг, хозяйствами, для увеличения объемов и повышения эффективности перевозок автомобильным транспортом удобрений и других массовых грузов. Представляется перспективной разработка по данной модели алгоритма и программы для определения оптимального маршрута движения автомобилей для распределения данного объема груза.

Ключевые слова: органические удобрения; грузовые автомобили; перевозки, затраты; модель; оптимизация; сетевой анализ; линейное программирование.

Надійшла (received) 21.02.2022