

# МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКОНОМІЦІ

УДК 658.81:519.86

DOI: <https://doi.org/10.32782/2708-1834/2023-03.4>**Белз О.Г.**

кандидат економічних наук, доцент,  
доцент кафедри інформаційних систем у менеджменті  
*Львівський національний університет імені Івана Франка*

**Belz Oleksandra***Ivan Franko National University of Lviv*

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ КООРДИНАТ РОЗМІЩЕННЯ РОЗПОДІЛЬЧИХ ЦЕНТРІВ НА ВІДРІЗКУ ДОРОГИ

## DETERMINATION OF OPTIMAL COORDINATES FOR LOCATING DISTRIBUTION CENTERS ON A ROAD SEGMENT

Проаналізовано особливості використовуваних у збутовій логістиці методів визначення оптимального місця розташування розподільчих центрів. Обґрунтовано обмеженість використання існуючих методів для визначення оптимальних координат розміщення розподільчих центрів на відрізку дороги. Запропоновано придатний для розв'язування практичних задач метод знаходження оптимальних рішень щодо сфери обслуговування та місця розташування двох і більше розподільчих центрів на відрізку дороги. Роботу методу продемонстровано на навчальному прикладі. Достовірність методу підтверджує стовідсоткове співпадіння визначених запропонованим методом оптимальних координат розміщення розподільчих центрів з оптимальними координатами, визначеними методом повного перебору.

**Ключові слова:** збутова логістика, розподільчі центри, розподільчі склади, товаропровідна мережа, методи оптимізації місця розташування розподільчих центрів.

One of the optimization tasks in logistics chains is determining the optimal number and location of distribution centers, which allows companies to reduce delivery costs, shorten delivery time, and ensure more reliable and stable delivery of goods to consumers. This, in turn, increases customer satisfaction and contributes to the formation of high customer loyalty to the business. Additionally, optimal placement of distribution centers helps reduce road congestion and decrease emissions of harmful substances, promoting sustainable development and environmental preservation. The study analyzed the peculiarities of the methods used in sales logistics for determining the optimal location of distribution centers. The limitations of existing methods for determining the optimal coordinates for locating distribution centers on a road segment were substantiated. The validity of the constraint that the coordinates of distribution centers should coincide with the coordinates of certain customers of the distribution centers was confirmed. A suitable method for solving practical problems was proposed for finding optimal solutions regarding the service area and location of two or more distribution centers on a road segment. The proposed method assumes that the coordinates of the distribution centers coincide with the coordinates of individual consumers. The functionality of the method was demonstrated through a case study. The method was tested on thirty-three examples where eleven customers of distribution centers were located on a 100 km road segment. Each example contained unique values of indicators such as "customer's cargo turnover for a period" and "freight transporta-

tion tariff." In all cases, the results of the proposed method in the study matched 100% with the results of the method of complete recalculation (MCR). The method presented in the study for determining the optimal coordinates for locating distribution centers on a road segment is considered reliable. Further research should involve testing the method on examples with a larger number of customers and a larger number of distribution centers.

**Key words:** sales logistics, distribution centers, distribution warehouses, freight network, methods of optimizing the location of distribution centers.

**Постановка проблеми.** Одним з основних завдань підприємства є забезпечення доставки товарів до споживачів у найкоротший термін і з мінімальними витратами. Це стає особливо важливим у випадку, коли підприємство має велику територію обслуговування або високі вимоги до швидкості і надійності доставки. Визначення оптимальної кількості та місця розташування розподільчих центрів дасть змогу підприємствам знизити витрати на доставку, скоротити час доставки, забезпечити більш надійну та стабільну доставку товарів до споживачів, що зумовить підвищення рівня задоволеності клієнтів і сприятиме формуванню високої лояльності споживачів до бізнесу. При збільшенні кількості розподільчих складів у товаропровідній мережі, витрати на транспортування та обробку замовлень зменшуються, однак витрати на зберігання запасів на складах збільшуються. При досягненні певної кількості розподільчих складів, загальні витрати досягають мінімуму. На рішення щодо географічного місцезнаходження розподільчого центру впливають різні фактори, такі як прямі та непрямі витрати, місце розташування замовників, постачальників та матеріалів, конкуренти та їх потужність, а також розмір та конфігурація ділянки. При цьому слід враховувати потенціал розширення, транспортну доступність місцевості, ситуацію на місцевому ринку праці, відношення органів влади, громадськості та політичну стабільність. Також важливими є природні умови, такі як клімат, рельєф місцевості, наявність водоймищ та можливість стихійних лих.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні в науковій літературі методиці визначення оптимального місця розташування розподільчих центрів приділяють немало

уваги. Так, у [9, с. 102–110] описано такі методи визначення оптимального розташування розподільчих центрів, як метод центру ваги, метод пробної точки, метод повного перебору та метод математичного програмування.

Метод пробної точки передбачає, що оптимальне розміщення розподільчого центру повинно збігатися з координатою одного із клієнтів розподільчого центру. Коректність такого обмеження на місце можливого розміщення розподільчого центру підтверджується багаточисельними експериментами, проведеними у рамках нашого дослідження. Для визначення місця розташування одного розподільчого центру на відрізку дороги метод пробної точки дає змогу отримати оптимальне рішення. Однак цей метод є абсолютно непридатним для визначення місця розташування двох чи більше розподільчих центрів.

Метод центру [3–4; 9] ваги не передбачає можливості визначити місця розташування двох чи більше розподільчих центрів, а застосування його для визначення місця розташування одного розподільчого центру на відрізку дороги є неприйнятним, так як не дає оптимального рішення.

Метод повного перебору на практиці важко застосовувати з огляду на його трудомісткість. Якщо брати до уваги обмеження, що оптимальне розміщення розподільчого центру повинно збігатися з координатою одного із клієнтів розподільчого центру, кількість варіантів розміщення розподільчих центрів визначається за формулою [6–7]:

$$C_n^m = \frac{n!}{m! \cdot (n-m)!}, \quad (1)$$

де  $C_n^m$  – кількість комбінацій,  $n$  – кількість клієнтів розподільчих центрів;  $m$  – кількість розподільчих центрів.

Звідси, якщо кількість клієнтів розподільчих центрів дорівнює 100, а кількість розподільчих центрів дорівнює 2, тоді кількість можливих варіантів розміщення розподільчих центрів дорівнює 4 950. Якщо ж кількість клієнтів розподільчих центрів дорівнює 100, а кількість розподільчих центрів дорівнює 6, тоді кількість можливих варіантів розміщення розподільчих центрів дорівнює 1 192 052 400. Як бачимо, кількість можливих комбінацій розташування розподільчих центрів збільшується з кількістю потенційних місць розташування. Навіть для відносно невеликих відрізків доріг кількість комбінацій може стати надзвичайно великою, що призводить до значного збільшення обчислювального часу і ускладнює практичне застосування методу.

У роботі [6] висвітлено особливості визначення оптимального розміщення розподільчих центрів методом математичного програмування. Автори зазначають, що у випадку, коли оптимальне розміщення розподільчого центру збігається з координатою одного із клієнтів розподільчого центру, задачу математичного програмування розв'язують одним із методів, а саме: методом повного перебору MCR (Method of complete recalculation); методом усіченого перебору MTR (Method of truncated recalculation); методом покоординатної оптимізації MCD (Method of coordinate descent). Метод MTR використовує усічений перебір для зменшення обчислювальних витрат. Метод MCD пропонує покоординатну оптимізацію, яка починається з деякого початкового розміщення центрів і послідовно переміщує один центр, залишаючи решту фіксованими. Автори дослідження роблять висновок, що MCR доцільно застосовувати для систем з кількістю замовників не більше 50–60, MTR – для систем з кількістю замовників від 50–60 до 100, а метод MCD – для систем більшої розмірності. Окрім того, дослідники зазначають, що методи MTR і MCD дають змогу здійснити пошук близького до оптимального (субоптимального) рішення з похибкою 4,2 % і 4,7 % відповідно (похибка розрахована за результатами розв'язування

120 задач з рівномірним розподілом клієнтів розподільчих центрів на території).

Науковці в [5, с. 100], окрім вищезгаданих методів, описують евристичні, які придатні для вирішення великих практичних задач. Методи передбачають попередню відмову від великої кількості очевидно неприйнятних варіантів, що значно спрощує розрахунки. Спеціаліст-експерт аналізує транспортну мережу та виключає з розгляду непридатні, на його думку, варіанти. Такі методи не гарантують досягнення оптимального рішення, що може зумовити наявність значної похибки.

У роботах [2; 10] запропоновано для визначення оптимальної кількості та координат розміщення трансформаторних підстанцій застосовувати методи кластеризації. Проте ми вважаємо, що застосування будь-яких методів кластеризації для розв'язування досліджуваної задачі дає змогу отримати лише субоптимальне рішення з великою похибкою, що є неприпустимим з огляду на великі потенційні збитки за умови неоптимального розміщення розподільчих центрів.

У [8] запропоновано диференціювати функцію загальних витрат за показниками кількість розподільчих центрів та вантажообіг відповідно. Прирівнявши диференційовану функцію до нуля, автори отримали систему із двох рівнянь з двома невідомими. Розв'язок побудованої системи рівнянь, за словами авторів, дає змогу визначити необхідну кількість розподільчих центрів. Проте, таке рішення можливо отримати тільки графічним або чисельним методами. Окрім того, запропонований підхід не дає змогу визначити оптимальні координати розміщення розподільчих складів.

У роботі [1] запропоновано методiku визначення оптимального розташування розподільчих центрів на основі методики оптимального планування променевої терапії злоякісних пухлин. Якщо споживачі розподільчих центрів розміщені на площині, цей метод дозволяє визначити місце розташування найбільш оптимальної кількості складів з урахуванням їх місткості для

необхідного обсягу перевезень вантажів і відстані від складів до споживачів. Проте метод непридатний для визначення місцезнаходження розподільчих центрів на відрізьку дороги.

**Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми.** Як видно з наведеного огляду, задача визначення оптимального місця розташування двох і більше розподільчих центрів на відрізьку дороги не має єдиного рішення і потребує подальших досліджень.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розроблення методу знаходження оптимальних рішень щодо розміщення двох і більше розподільчих центрів на відрізьку дороги, який б був придатним для розв'язування практичних задач.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Запропонований у роботі метод визначення оптимального розміщення розподільчих центрів передбачає врахування обмеження про збіг координат розподільчих центрів з координатами деяких споживачів. Тобто, всі координати клієнтів розподільчих центрів будуть потенційними координатами самих розподільчих центрів. Тому на першому кроці роботи методу потрібно побудувати матрицю  $A$  розміру  $n \times m$ , де  $n$  – кількість клієнтів розподільчих центрів. В рядках матриці буде відображатися інформація про клієнтів розподільчих центрів, а в стовпцях матриці – інформація про розподільчі центри. Елемент матриці  $a_{ij}$  ( $i$  – номер рядка, а  $j$  – номер стовпця) відображає вартість перевезення товарів з  $j$ -го розподільчого центру до  $i$ -го споживача та розраховується за формулою:

$$a_{ij} = |x_i - x_j| \cdot v_i \cdot t_i, \quad (2)$$

де  $x_i$  – координата  $i$ -го споживача;  $x_j$  – координата  $j$ -го розподільчого центру;  $v_i$  – вантажообіг за період  $i$ -го споживача, т;  $t_i$  – тариф на перевезення товарів до  $i$ -го споживача, грн/ткм (визначається вимогами до перевезення товарів споживача).

Наведемо приклад. Нехай на відрізьку дороги довжиною 100 км знаходяться 11 потенційних клієнтів розподільчих центрів. Координати клієнтів: 0; 10; 12; 15; 26;

36; 43; 45; 55; 78 та 100 відповідно. Вантажообіг клієнтів 120 т, 120 т, 10 т, 200 т, 87,5 т, 100 т, 85 т, 90 т, 75 т, 105 т і 70 т відповідно. Тариф на перевезення товарів до клієнтів розподільчих центрів 20 грн/ткм, 20 грн/ткм, 30 грн/ткм, 40 грн/ткм, 20 грн/ткм, 30 грн/ткм, 30 грн/ткм, 20 грн/ткм, 40 грн/ткм, 20 грн/ткм і 20 грн/ткм відповідно. Вартість перевезення товарів з  $j$ -го розподільчого центру до  $i$ -го споживача подана у табл. 1.

На другому кроці роботи методу потрібно для суміжних за координатами клієнтів розподільчих центрів розрахувати показники «відстань між клієнтами», «вартість перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів на 1 км» «вартість перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів на відстань між клієнтами» та «накопичену вартість перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів на відстань між клієнтами» (див. табл. 2).

На третьому кроці роботи методу потрібно підсумок показника «вартість перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів на відстань між клієнтами» розділити на кількість розподільчих центрів, координати яких потрібно визначити. Отримана величина буде попередньою оцінкою накопиченої вартості перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів, яких буде обслуговувати один розподільчий центр. Тому до сфери обслуговування розподільчого центру необхідно віднести тих суміжних клієнтів, накопичена вартість сумарного товарообороту яких максимально близька до попередньою оцінкою накопиченої вартості перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів. Нехай шукана кількість розподільчих центрів – три, тоді  $522\ 900/3=174\ 300$ . Отже, за попередньою оцінкою, перший розподільчий центр буде обслуговувати клієнтів 1–5, другий розподільчий центр – клієнтів 6–9, а третій розподільчий центр – клієнтів 10–11.

Так як запропонований у дослідженні метод передбачає, що координати розподільчих центрів співпадають з координатами

Таблиця 1

## Вартість перевезення товарів, грн

Клієнти розподільчих центрів	Потенційні координати розподільчих центрів										
	0	10	12	15	26	36	43	45	55	78	100
1	0	24 000	28 800	36 000	62 400	86 400	103 200	108 000	132 000	187 200	240 000
2	24 000	0	4 800	12 000	38 400	62 400	79 200	84 000	108 000	163 200	216 000
3	3 600	600	0	900	4 200	7 200	9 300	9 900	12 900	19 800	26 400
4	120 000	40 000	24 000	0	88 000	168 000	224 000	240 000	320 000	504 000	680 000
5	45 500	28 000	24 500	19 250	0	17 500	29 750	33 250	50 750	91 000	129 500
6	108 000	78 000	72 000	63 000	30 000	0	21 000	27 000	57 000	126 000	192 000
7	109 650	84 150	79 050	71 400	43 350	17 850	0	5 100	30 600	89 250	145 350
8	81 000	63 000	59 400	54 000	34 200	16 200	3 600	0	18 000	59 400	99 000
9	165 000	135 000	129 000	120 000	87 000	57 000	36 000	30 000	0	69 000	135 000
10	163 800	142 800	138 600	132 300	109 200	88 200	73 500	69 300	48 300	0	46 200
11	140 000	126 000	123 200	119 000	103 600	89 600	79 800	77 000	63 000	30 800	0

Джерело: складено автором

Таблиця 2

## Підготовчі дані для визначення координат розміщення потенційних розподільчих центрів

Суміжні клієнти розподільчих центрів	Показники			
	Відстань між клієнтами	Вартість перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів на 1 км	Вартість перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів на відстань між клієнтами	Накопичена вартість перевезення сумарного товарообігу суміжних клієнтів на відстань між клієнтами
1–2	10	4 800	48 000	48 000
2–3	2	2 700	5 400	53 400
3–4	3	8 300	24 900	78 300
4–5	11	9 750	107 250	185 550
5–6	10	4 750	47 500	233 050
6–7	7	5 550	38 850	271 900
7–8	2	4 350	8 700	280 600
8–9	10	4 800	48 000	328 600
9–10	23	5 100	117 300	445 900
10–11	22	3 500	77 000	522 900
Всього	–	–	522 900	–

Джерело: складено автором

деяких споживачів, то у нашому прикладі перший розподільчий центр може знаходитися в одній із координат 0, 10, 12, 15 чи 26, другий розподільчий центр – в одній із координат 36, 43, 45 чи 55, а третій розподільчий центр – в одній із координат 78 чи 100.

На четвертому кроці роботи методу потрібно для кожної потенційної координати розподільчого центру розрахувати вартість перевезення товарів до клієнтів, яких, за попередньою оцінкою, буде обслуговувати розподільчий центр. Оптимальне

**Попередня оцінка вартості перевезення товарів з розподільчих центрів до їхніх клієнтів**

Клієнти розподільчих центрів	Потенційні координати розподільчих центрів										
	0	10	12	15	26	36	43	45	55	78	100
1–5	193 100	92 600	82 100	68 150	193 000	–	–	–	–	–	–
6–9	–	–	–	–	–	91 050	60 600	62 100	105 600	–	–
10–11	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30 800	46 200

Джерело: складено автором

місцезнаходження розподільчого центру буде відповідати координаті з мінімальною вартістю перевезення товарів клієнтам. У нашому прикладі на підставі даних табл. 1 розрахуємо шукану вартість (див. табл. 3).

Як видно з даних табл. 3, перший розподільчий центр доцільно розміщати в координаті 15, другий розподільчий центр – в координаті 43, а третій розподільчий центр – в координаті 78.

На п'ятому кроці роботи методу потрібно, за потреби, відкоригувати сферу обслуговування кожного розподільчого центру. У процесі такого коригування потрібно дотримуватися правила, що клієнти повинні обслуговуватися тим розподільчим центром, відстань до якого є мінімальна. У нашому прикладі потреби в такому коригуванні немає, і тому кожен з трьох розподільчих центрів буде обслуговувати клієнтів, визначених на третьому кроці роботи методу.

Достовірність роботи методу було перевірено на тридцяти трьох прикладах з одинадцятьма клієнтами, розміщеними на відрізку дороги протяжністю 100 км. За допомогою запропонованого у дослідженні методу було визначено оптимальні координати та сфери обслуговування одного, двох і трьох розподільчих центрів. Кожен приклад містив унікальні значення показників «вантажобіг

клієнта за період» та «тариф на перевезення товарів». У всіх випадках результати запропонованого у дослідженні методу стовідсотково співпадали з результатами методу повного перебору.

**Висновки.** Задача визначення оптимального місця розташування розподільчих центрів на відрізку дороги є важливою у процесі прийняття логістичних рішень. Правильне розміщення розподільчих центрів дасть змогу забезпечити ефективну та оптимальну доставку товарів до клієнтів, зменшити витрати на логістику, покращити обслуговування та знизити час доставки. Оптимальне розташування розподільчих центрів може також сприяти зменшенню дорожнього навантаження та зниженню викидів шкідливих речовин, сприяючи сталому розвитку та збереженню навколишнього середовища. Тому розроблення методу вирішення цієї задачі, який був би придатним для розв'язування практичних задач, має велике значення для підприємств, логістичних компаній та суспільства в цілому.

Запропонований у дослідженні метод можна вважати достовірним, проте у подальших дослідженнях доцільно було б його протестувати на прикладах з більшою кількістю клієнтів і більшою кількістю розподільчих центрів.

**Список літератури:**

1. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method. *Transport*. 2019. Vol. 34. No 2. P. 175–186. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.8546> (дата звернення: 01.05.2023).

2. Gupta R., Muttoo S. K., Pal S. K. Fuzzy C-Means Clustering and Particle Swarm Optimization based scheme for Common Service Center location allocation. *Appl Intell*. 2017. Vol. 47. P. 624–643. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10489-017-0917-0> (дата звернення: 01.05.2023).
3. Jardas M., Krljan T., Hadžić A. P., Grubišić N. Distribution center logistics optimization model – City of Rijeka case study. *Scientific Journal of Maritime Research*. 2020. Vol. 34. P. 185–194. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/347347> (дата звернення: 01.05.2023).
4. Андрусів У. Я. Розподільчий центр як умова вдосконалення логістичного ланцюга в антикризовому управлінні підприємством. *Прийзовський економічний вісник*. 2017. Вип. 1 (01). С. 38–42. URL: [http://pev.kpu.zp.ua/journals/2017/1\\_01\\_uk/8.pdf](http://pev.kpu.zp.ua/journals/2017/1_01_uk/8.pdf) (дата звернення: 01.05.2023).
5. Безугла Л. С., Юрченко Н. І., Ільченко Т. В., Пальчик І. М., Воловик Д. В. Логістика : навч. посіб. Дніпро : Пороги, 2021. 252 с.
6. Бескоровайный В. В., Имангулова З. А., Петрова А. И. Оптимизация количества и местоположения распределительных центров транспортно-складской системы. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. Том 5. № 3(59). С. 24–28.
7. Комбінаторика. URL: <https://formula.co.ua/uk/content/combinatorics.html> (дата звернення: 01.05.2023).
8. Коцюк О. Я., Бакуліч О. О., Мусатенко О. В. Оптимізація розподільчої системи доставки товарів. *Економіка та управління на транспорті*. 2016. Вип. 3. С. 32–41. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/eut/2016-03/032-041.pdf> (дата звернення: 01.05.2023).
9. Марченко В. М. Шутюк В. В. Логістика : підручник. Київ : Видавничий дім «Артек», 2018. 312 с.
10. Федосенко М. М., Кудієв П. В., Віннічук В. В. Визначення оптимального числа і місць розташування підстанцій міських розподільчих мереж електропостачання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2016. № 2. С. 13–17. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete\\_2016\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2016_2_4) (дата звернення: 01.05.2023).

### References:

1. Danchuk V., Bakulich O., Svatko V. (2019) Identifying optimal location and necessary quantity of warehouses in logistic system using a radiation therapy method. *Transport*, vol. 34, no. 2, pp. 175–186. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2019.8546> (accessed May 01, 2023).
2. Gupta R., Muttoo S. K., Pal S. K. (2017) Fuzzy C-Means Clustering and Particle Swarm Optimization based scheme for Common Service Center location allocation. *Appl Intell*, vol. 47, pp. 624–643. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10489-017-0917-0> (accessed May 01, 2023).
3. Jardas M., Krljan T., Hadžić A. P., Grubišić N. (2020) Distribution center logistics optimization model – City of Rijeka case study. *Scientific Journal of Maritime Research*, vol. 34, pp. 185–194. Available at: <https://hrcak.srce.hr/file/347347> (accessed May 01, 2023).
4. Andrusiv U. Ya. (2017) Rozpodilchyi tsentr yak umova vdoskonalennia lohistrychnoho lantsiuh v antykryzovomu upravlinni pidpriemstvom [The distribution center as a condition for improving the logistics chain in the anti-crisis management of the enterprise]. *Pryazovsky Economic Bulletin*, vol. 1 (01), pp. 38–42. Available at: [http://pev.kpu.zp.ua/journals/2017/1\\_01\\_uk/8.pdf](http://pev.kpu.zp.ua/journals/2017/1_01_uk/8.pdf) (accessed May 01, 2023).
5. Bezuhla L. S., Yurchenko N. I., Ilchenko T. V., Palchuk I. M., Volovyk D. V. (2021) Lohistyka [Logistics]. Dnipro: Thresholds, 252 p.
6. Beskorovainii V. V., Imangulova Z. A., Petrova A. I. (2012) Optimizatsiya kolichestva i mestopolozheniya raspredelitelnykh tsentrov transportno-skladskoi sistemi [Optimization of the number and location of distribution centers of the transport and warehouse system]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no. 3(59), pp. 24–28.
7. Kombinatoryka [Combinatorics]. Available at: <https://formula.co.ua/uk/content/combinatorics.html> (accessed May 01, 2023).
8. Kotsiuk O. Ya., Bakulich O. O., Musatenko O. V. (2016) Optymizatsiia rozpodilchoi systemy dostavky tovariv [Optimization of the distribution system of goods delivery]. *Economy and transport management*, vol. 3, pp. 32–41. Available at: <http://publications.ntu.edu.ua/eut/2016-03/032-041.pdf> (accessed May 01, 2023).
9. Marchenko V. M., Shutiuk V. V. (2018) Lohistyka [Logistics]. Kyiv: Artek Publishing House, 312 p.
10. Fedosenko M. M., Kudiiiev P. V., Vinnichuk V. V. (2016) Vyznachennia optymalnoho chysla i mistv roztashuvannia pidstantsii miskykh rozpodilchyykh merezh elektropostachannia [Determining the optimal number and locations of substations of urban power distribution networks]. *Energy: economy, technologies, ecology*, no. 2, pp. 13–17. Available at: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete\\_2016\\_2\\_4](http://nbuv.gov.ua/UJRN/eete_2016_2_4) (accessed May 01, 2023).