

DOI: 10.31319/2519-8106.2(49)2023.293184

UDC 519.1:656.012.34

Pasichnyk Anatoliy, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor of the Applied and Higher Mathematics

Пасічник А.М., доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри прикладної та вищої математики

ORCID: 0000-0002-8561-1374

e-mail: panukr977@gmail.com

Dnipro State Technical University, Kamianske

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

ALGORITHM FOR BUILDING AND OPTIMIZING THE REGIONAL NETWORK OF TRANSPORT AND LOGISTICS COMPLEXES

АЛГОРИТМ ПОБУДОВИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РЕГІОНАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

An algorithm for building and a method for optimizing the structure of the regional network of transport and logistics complexes is proposed. Minimization of transport costs of goods delivery was chosen as an optimization criterion. The possibility of applying the proposed approach for building a transport and logistics network in the Dnipro region is shown. Calculations of the processing capacity of the logistics complexes of the constructed network were carried out.

Keywords: *logistics network optimization method, logistics, logistics terminal capacity.*

Актуальність даної статті обумовлена тим, що побудова регіональних транспортно-логістичних комплексів у складі національної логістичної системи відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні безперервного руху логістичних потоків товарів від постачальників до споживачів. Аналіз результатів наукових досліджень показує, що в транспортній галузі ЄС безпосередньо зайнято понад 10 мільйонів чоловік, що складає 4,5 % від загальної чисельності працездатного населення, і становить 4,6 % від показника валового внутрішнього продукту, а відповідно фінансові витрати ЄС на розвиток транспортної інфраструктури передбачаються в обсязі понад 1,5 трлн. євро на період до 2030 року. Тому проведення досліджень пов'язаних з удосконаленням та розробкою методології побудови регіональної мережі транспортно-логістичних комплексів має достатньо актуальне значення

Метою даної статті є розробка алгоритму та методу оптимізації структури регіональної мережі транспортно-логістичних комплексів із урахуванням можливих варіантів їх розміщення. Умовою можливого місця розміщення логістичних комплексів є його забезпеченість необхідною транспортно-логістичною інфраструктурою. Також необхідно визначити перероблявальну спроможність кожного логістичного комплексу.

У відповідності із запропонованим підходом в якості критерія оптимізації використовується критерій мінімізації сумарних транспортних витрат доставки товарів до споживачів. В процесі пошуку оптимального варіанту місць розміщення логістичних комплексів мережі на першому етапі на основі методу центра мас рівновагової системи транспортних витрат визначаються координати розміщення одного логістичного комплексу і розраховуються транспортні витрати на доставку товарів до кожного міста регіону. Потім проводиться аналіз варіанту мережі із двох логістичних комплексів, розміщених за координатами міст з найбільшими обсягами транспортних витрат доставки товарів. В роботі наведені результати розрахунків для варіантів мережі до n 'яти логістичних комплексів.

В якості умови оптимальної структури регіональної мережі логістичних комплексів обирається варіант мережі з мінімальним значенням сумарних транспортних витрат доста-

вки вантажів з максимально допустимими обсягами капітальних вкладень на будівництво логістичних терміналів мережі. Для розглянутого прикладу побудови мережі транспортно-логістичних комплексів Дніпровського регіону в якості оптимальних місць розміщення логістичних терміналів визначено координати в околиці міст Дніпро, Кривий Ріг, Павлоград.

В подальших дослідженнях для підвищення ефективності запропонованого підходу необхідно в якості критерія оптимізації обрати мінімізацію логістичних витрат переробки товаропотоку в логістичних терміналах та доставки товарів до споживачів.

Ключові слова: метод оптимізації логістичної мережі, логістика, потужність логістичного терміналу.

Problem's Formulation

The integration of the Ukrainian economy into the European system of economic cooperation involves bringing to uniform standards the functioning of the relevant transport systems within the framework of the European transport market, as well as at the national and regional levels. Modern transport and logistics infrastructure, based on the application of the latest technologies and innovations, is one of the effective factors of the successful social and economic development of European countries [1, 2]. The results of the research show that more than 10 million people are directly employed in the EU transport industry, which is 4.5 % of the total number of working population and 4.6 % of the gross domestic product, and accordingly the financial costs of the EU for the development of transport infrastructure are expected in the amount of more than 1.5 trillion. euros for the period until 2030 [3]. In this regard, conducting research related to the improvement and development of the methodology for building a regional network of transport and logistics complexes (TLC) has a sufficiently relevant scientific and applied significance.

Analysis of recent research and publications

The creation of regional transport and logistics complexes as part of the national logistics system plays an extremely important role in ensuring the uninterrupted movement of logistics flows of goods from suppliers to consumers. The analysis of the results of scientific research indicates a sufficiently strong theoretical justification of the problems of functioning and development of transport and logistics systems taking into account the conditions of integration [4].

Research is especially active in the search for new, effective methods of building regional transport and logistics systems. The results of such studies are covered both in fundamental monographs [5] and in scientific publications [6, 7]. In accordance with world experience, the creation of a network of regional logistics centers is a determining factor in the effectiveness of the development of the national transport and logistics infrastructure [8]. The rationale for the importance of optimizing the logistics infrastructure to increase the reliability and efficiency of international freight transportation is given in [9]. The results of a systematic analysis of methodological approaches to the formation of logistics transport and customs infrastructure in Ukraine are given in [10]. In work [11], modeling and research of the functioning of the transport and logistics center was carried out. Mathematical models and systematization of transport problems related to placement-partition optimization under conditions of uncertainty are considered in [12].

The results of the analysis of the effectiveness of the construction of a network of transport and logistics complexes based on the factor rating model are given in [13]. The work [14] is devoted to the issue of improving the structure of logistic transport and customs complexes.

At the same time, the issues of optimal placement and determination of the processing capacity of regional transport and logistics complexes remain understudied. Therefore, the development and improvement of methods and algorithms for the formation of transport and logistics complexes in the regions are becoming extremely important.

Formulation of the study purpose

The purpose of this work is to develop an algorithm for construction and a method of structural optimization of the regional network of transport and logistics complexes taking into account possible options for their placement. A condition for the possible location of the TLC is its provision of the necessary transport and logistics infrastructure. It is also necessary to conduct an analysis of the processing capacity and the amount of capital investment for the construction of each logistics center.

Presenting main material

Determination of the optimal regions for the placement of TLC is carried out by analyzing the main cargo flows, as well as the availability of transport and logistics infrastructure and its condition [15]. The algorithm of the process of creating a regional network of transport and logistics complexes is shown in fig. 1.

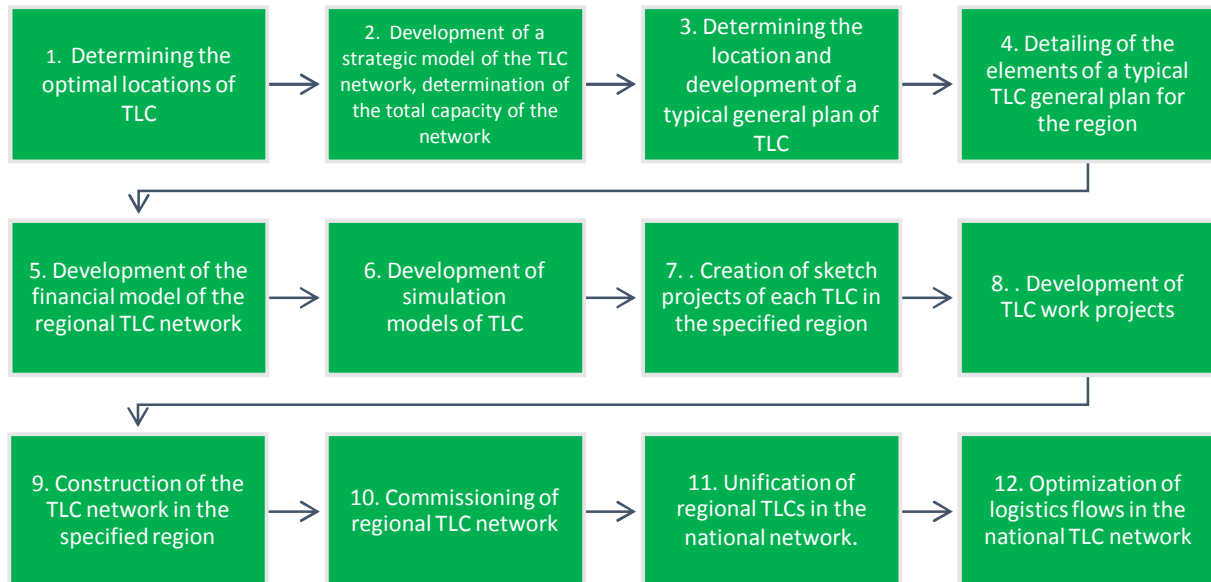


Fig. 1. Scheme of the regional network creation algorithm transport and logistics complexes

The problem of creating a regional TLC network is inextricably linked to the issues of determining the optimal number of such centers in the region and their mutual location. Finding the best TLC location in the region depends on a few factors.

At the same time, the optimal position of TLC in relation to other elements of the network (consumers, suppliers, warehouse complexes) is determined by a few factors that can be divided into three groups according to their nature and the amount of influence on the network configuration [13, 15].

The first group of factors characterizes the economic potential of the location due to the proximity of the market, investment attractiveness, the availability and value of land plots, the cost of building a warehouse complex.

The second group of factors reflects the state of the transport infrastructure of the chosen place due to the level of transport accessibility, proximity to international transport corridors, the number of efficiently operating modes of transport in the region, the possibility of modernization and further development of transport infrastructure.

The third group of factors characterizes the state of "administrative assistance" due to the presence of locally approved development concepts and location planning of industrial and transport facilities, obtaining permits for the construction of TLC.

However, making decisions about the placement of transport and logistics infrastructure objects based only on factor assessments does not guarantee finding the optimal placement option. In this regard, the question of creating mathematical models for determining the optimal locations of TLC is important.

In this study, we will consider the method of building and calculating the optimal location of the regional network of TLCs of consumer goods in the Dnipro region with the determination of their processing capacity.

To form the initial data of the calculation, we include large cities in the list, and assume that the need for goods in any city is proportional to the population of that city. As a basis for determining

the coordinates of one city relative to another, we take the geographic coordinates of the centers of these cities. Given that the original geographic coordinates of all cities are in the range of values from 32° to 39° east longitude and from 47° to 49° north latitude. We assume that the axes of the relative rectangular coordinate system have the direction of 32 meridians and 47 parallels with the origin at the point of their intersection. Using the data that in the specified belt, 1° of longitude corresponds to 73.5 km, and 1° of latitude corresponds to 110.1 km, the coordinates of all receivers in km are determined by the following formulas:

$$X_i = (R_{e.l.}^0 - 32) \times 73,5 + R'_{e.l.} \left(\frac{73,5}{60} \right); \quad (1)$$

$$Y_i = (R_{n.l.}^0 - 47) \times 110,1 + R'_{n.l.} \left(\frac{110,1}{60} \right), \quad (2)$$

where $(X_i; Y_i)$ — distances from the 32nd meridian and 47th parallel, respectively; $(R_{e.l.}^0; R_{n.l.}^0)$ — degrees of longitude and latitude of the given city; $R'_{e.l.}; R'_{n.l.}$ — minutes in longitude and latitude of the given city.

Data on the given coordinates, the population of the respective cities and the volume of consumption of goods are given in the tabl. 1. At the same time, we believe that the suppliers are in cities with a sufficiently developed transport infrastructure and provide the necessary volumes of supplies shown in the tabl. 2.

Table 1. Coordinates and volumes of supplies of goods to consumers

City	Placement coordinates		Population, thousands of people	Supply volumes, t.	Share of the total volume, %
	x	y			
Dnipro	221,73	159,65	992,18	18099,3	36,18
Vilnohirsk	148,23	161,48	23,66	431,6	0,86
Kamianske	189,88	166,99	247,66	4517,9	9,03
ZhovtiVody	110,25	148,64	47,52	866,9	1,73
Kryvyi Rih	104,13	104,60	650,48	11866,0	23,72
Marganec	191,10	69,73	49,15	896,6	1,79
Nikopol	172,73	62,39	116,83	2131,3	4,26
Novomoskovsk	236,43	179,83	71,49	1304,1	2,61
Pokrov	153,13	71,57	42,59	777,0	1,55
Pavlograd	284,20	166,99	109,31	1993,9	3,99
Pershotravensk	323,40	146,80	28,97	528,5	1,06
Sinelnykovo	257,25	144,97	31,53	575,1	1,15
Ternivka	298,90	166,99	28,88	526,8	1,05
Apostolovo	126,18	71,57	28,62	522,1	1,04
Zelenodolsk	120,05	60,56	28,18	514,1	1,03
Vasylkivka	295,23	132,12	33,22	606,0	1,21
Verkhnedniprovsk	171,50	179,83	36,96	674,3	1,35
Verkhivtseve	165,38	163,32	10,06	183,6	0,37
Pidgorodne	227,85	172,49	19,53	356,3	0,71
Slobozhanske	225,40	168,82	12,95	236,2	0,47
Magdalinovka	287,88	209,19	6,50	118,6	0,24
Mezhova	346,68	159,65	7,52	137,2	0,27
Chervonogrygorivka	184,98	67,90	6,60	120,4	0,24
Pereshepyne	246,23	220,20	10,14	184,9	0,37
Gvardiyske	243,78	159,65	6,20	113,1	0,23
Gubinykha	238,88	198,18	5,64	102,8	0,21
Petropavlivka	325,85	159,65	7,46	136,1	0,27
Pokrovske	311,15	106,43	10,13	184,8	0,37

Continue of the table 1.

Prosje	320,92	122,95	5,03	91,8	0,18
Pjtykhatky	124,95	154,14	18,89	344,5	0,69
Ilarionove	240,10	153,82	9,01	164,3	0,33
Solone	209,48	130,29	7,64	139,4	0,28
Sofievka	137,20	115,61	7,00	127,6	0,26
Tomakivka	200,90	88,08	7,07	129,0	0,26
Tsarychanka	181,30	212,86	7,61	138,8	0,28
Shyroke	93,10	75,24	10,37	189,1	0,38
In total			2742,58	50030	100

Table 2. Coordinates of suppliers and volumes of deliveries

City	Placement coordinates		Supply volumes, t.	Share of the total volume, %
	x	y		
Zelenodolsk	120,05	60,555	15604,3	31,19
Mezhova	346,675	159,645	21052,6	42,09
Pereshepyne	246,225	220,2	2251,4	4,5
Pjtykhatky	124,95	154,14	11121,7	22,23
In total			50030,0	100

In order to calculate the parameters of the creation of a regional TLC network, it is proposed to use the optimization method taking into account realistically acceptable options, which is based on the determination of the optimal places for placing from 1 to n TLC on the territory of the region, solving at the first stage the problem of minimizing transport work for a limited number of places of placement from one, and improving this result by placing more TLCs, choosing for them the cities with the largest transport work in relation to the previous option, thus minimizing the total transport work. The weight of goods that need to be transported to the city depends on the number of its population. To increase the effectiveness of the model, a level coefficient is determined for each city, which will take into account the presence of factors affecting the increase or decrease of the attractiveness of each city for placing TLC in it. This approach will make it possible to clearly divide consumer cities by TLC and determine the processing capacity of each logistics complex in each of the n options.

For the specified problem, the objective function of minimizing transport costs for the delivery of goods to consumers will be written as follows:

$$S(x, y) = P \cdot Q_i(x_i, y_i) \sqrt{(X - x_i)^2 + (Y - y_i)^2} \rightarrow \min, \quad (3)$$

where X, Y —coordinates of the new logistics complex; Q_i —volume of product deliveries to/from the i -th location; x_i, y_i —coordinates of the i -th supplier and customer; P — is the average tariff for transportation of goods by motor vehicle, $P = \$ 0,1$ for 1 t·km [13, p.220].

The conditions for ensuring demand must also be met:

$$Q(x, y) = \sum_{i=1}^n Q_i(x_i, y_i), \quad (4)$$

where $Q(x, y)$ —the total volume of goods supplied to the region.

The initial option for placing one TLC is found by the method of determining the center of mass of the equilibrium system of transport costs:

$$M_x = \frac{P \sum_{i=1}^n (X_i W_i) + G \sum_{i=1}^k (X_i W_i)}{P \sum_{i=1}^n (W_i) + G \sum_{i=1}^k (W_i)}, \quad (5)$$

$$M_y = \frac{P \sum_{i=1}^n (Y_i W_i) + G \sum_{i=1}^k (Y_i W_i)}{P \sum_{i=1}^n (W_i) + G \sum_{i=1}^k (W_i)}, \quad (6)$$

where $(M_x; M_y)$ — coordinates of the location of the TLC; $(X_i; Y_i)$ — coordinates of each supplier and customer; W_i — expected demand from the i -th customer or expected deliveries from the i -th supplier; G — the average rate of transportation by rail, $G = \$ 0,08$ for 1 t·km [13].

According to formulas (5), (6), we determine the coordinates of the center of mass of the equilibrium system of transport costs:

$$M_x = \frac{441496,633+355703,517}{2351,415+1600,963} = 201,70; \quad (7)$$

$$M_y = \frac{324552,800+208509,515}{2351,415+1600,963} = 134,87. \quad (8)$$

Thus, the coordinates of the center of mass of the equilibrium system of transport costs determine the place of optimal placement of one TLC-M (201.70; 134.87). Using formulas (1), (2) and backtracking to geographic coordinates, we have the Nadiivka settlement of the Dnipro region as a possible option for placing the logistics complex. In the case of such placement of the TLC, transport costs for the delivery of goods according to formula (3) will amount to \$ 318142, and the amount of capital investments, taking into account statistical data on the relative costs of creating a TLC [13, p.221], will amount to \$ 40.7 million. At the same time, the largest volumes of transport costs correspond to the provision of the cities of Kryvyi Rih (\$ 121220) and Dnipro (\$ 57669). Thus, in accordance with the proposed method, the coordinates of these cities should be chosen for the placement of two TLCs. To effectively solve the problem of optimal placement of TLC in the process of creating a regional network, only realistically acceptable options are used. That is, potentially possible options for the placement of TLCs that have all the necessary transport and logistics infrastructure are being considered.

The analysis shows that in the case of two TLCs, the volume of transport costs is significantly reduced and amounts to \$109562, of which \$45559 for the Kryvyi Rih TLC (12 cities) and \$64003 (24 cities) for the Dnipro TLC. The largest transport costs are realized when delivering consumer goods to the cities of Nikopol — \$17167 and Pavlograd — \$12542.

Taking into account the factor of uniformity of placement of TLC across the territory of the region, we choose the coordinates of the city of Pavlograd for the placement of the third TLC. In the case of three TLCs, the value of transport costs will be \$81464, and accordingly, the processing capacity of transport and logistics complexes will be: Dnipro — 26344 tons (14 cities), Kryvyi Rih — 18787 tons (12 cities), Pavlograd — 4899 tons (10 cities). Similar calculations were carried out to determine the regional network consisting of four and five TLCs, tabl. 3.

Table 3. Characteristics of the regional network for different numbers of TLCs

Number and parameters of TLC		Placement cities of TLC				
		Dnipro	Kryvyi Rih	Pavlograd	Kamianske	Nikopol
2	Processing capacity, t	31242,8	18787,2			
	Transportation costs, \$	64002,82	45559,34			
	Capital investments, \$ thousand	33086,0	22545,0			
3	Processing capacity, t	26344,0	18787,2	4898,8		
	Transportation costs, \$	27989,49	42459,35	11014,99		
	Capital investments, \$ thousand	27898,3	22545,0	8817,8		
4	Processing capacity, t	20829,4	18355,6	4898,8	5946,2	
	Transportation costs, \$	7608,34	38273,2	11014,99	4427,66	
	Capital investments, \$ thousand	24995,3	24419,4	8817,8	10703,2	
5	Processing capacity, t	20700,4	14430,3	4898,8	5946,2	4054,3
	Transportation costs, \$	6846,78	19361,03	11014,99	4427,66	4108,89
	Capital investments, \$ thousand	24840,5	23810,0	8817,8	10703,2	7297,7

The results of the dependence of the total transport costs of goods delivery on the amount of TLC in thousand US dollars are shown in fig. 2.

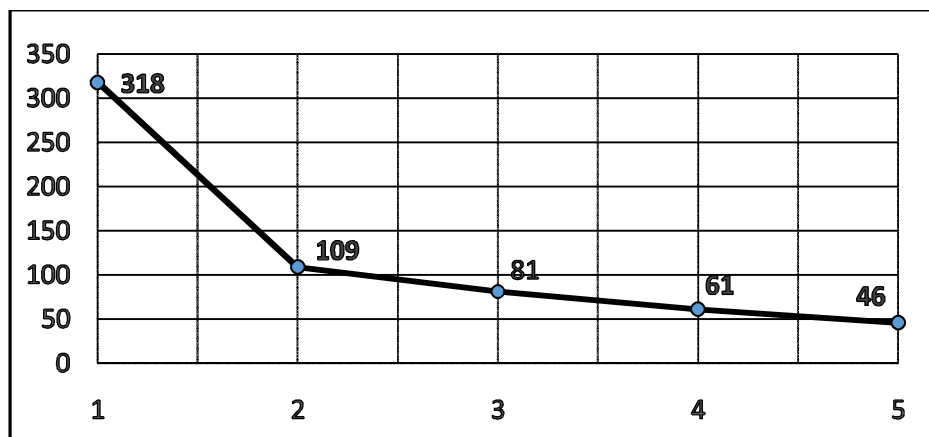


Fig. 2. Dependence of transport costs of goods delivery on the number of TLCs

Analysis of the dependence of transport costs on the number of LTMK allows us to conclude that the most significant reduction in total transport costs is provided by the presence of more than one TLK in the regional transport and logistics network. At the same time, the results shown in Tabl. 3 show that an increase in the number of TLC leads to a significant increase in capital investments for their construction. Therefore, for the considered case, the most effective option is a regional network consisting of three transport and logistics complexes: Dnipro, Kryvyi Rih, Pavlograd. The data on the distribution of goods flows determined by the results of the calculations for the optimal option for the placement of TLCs in the regional network are shown in the tabl. 4.

Table 4. Distribution of cargo flow processing for 3 TLCs

City	Capital investments, \$thousand	Processing capacity TLC, t	Transport work of transportation from TLC, t-km	The share of goods flow service, %
Dnipro	27898,2	26344,0	279894,9	34,36
Kryvyi Rih	22545,0	18787,2	424593,5	52,12
Pavlograd	8817,8	4898,8	110149,9	13,52
In total	59261,0	50030,0	814638,3	100,0

The creation of such a configuration of the regional network of transport and logistics complexes will minimize the amount of annual costs for their maintenance and transportation of goods.

Conclusions

The results of the research show that the proposed approach allows you to determine the locations and optimal structure of the regional network of transport and logistics complexes, as well as calculate the processing capacity of each logistics center. The process of finding the optimal variant of the structure of the transport and logistics system is implemented on the basis of minimizing the transport work of delivering goods, taking into account the possible options for placing TLCs and the amount of capital investments for their construction. A condition for the possible location of logistics complexes is that it is equipped with the necessary transport and logistics infrastructure.

The proposed approach allows generalization for the formation of a regional transport and logistics network based on the criterion of minimizing the logistics costs of processing the flow of goods in logistics terminals and delivering goods to consumers.

References

- [1] Kuz'menko A. V. (2015) Dosvid ta zakonornosti formuvannya svitovoyi transportno-lohistychnoyi infrastruktury. *Naukovyy ohlyad*, №7(17). P. 5–18. [in Ukrainian].
- [2] Polyakova O. M., Shramenko O. V. (2017) Suchasni tendentsiyi rozvytku transportno-lohistychnoyi infrastruktury v Ukrayini I sviiti. *Visnyk ekonomiky transport i promyslovosti*. № 58. P. 126–134. [in Ukrainian].
- [3] Vata Z. (2013) Suchasni tendentsiyi innovatsiyynoho rozvytku transportno-lohistychnoho kompleksu yevropeys'koho soyuzu. *Halyts'kyi ekonomichnyy visnyk*. №1(40). P.11–18. [in Ukrainian].
- [4] Kuz'menko K. M. (2021) Osnovni aspekty rozvytku transportnoho kompleksu Ukrayiny za kryteriyamy intehratsiyi. *Rozvytok metodiv upravlinnya ta hospodaryuvannya na transporti*. № 1 (74). P.52–64. [in Ukrainian].
- [5] Blahun I. C., Nychyk I. L. (2017) Formuvannya lohistychnoyi infrastruktury zakhidnoho rehionu. *Prychornomors'ki ekonomichni studiyi*. Vyp. 18. P. 215–218. [in Ukrainian].
- [6] Koval's'ka L. L., Savka B. R. (2013) Lohistychna infrastruktura rehionu: osoblyvosti formuvannya ta rozvytku: monohrafiya. Luts'k: SPD Hadyak Zhanna, drukarnya «Volyn'polihraf». 286 p. [in Ukrainian].
- [7] Polyans'ka A. S. (2014) Formuvannya lohistychnoyi infrastruktury rehionu. Aktual'ni problem rozvytku ekonomiky rehionu. Vyp. 10. P. 126–136. [in Ukrainian].
- [8] Yaroshenko L. L. (2016) Mizhnarodnyy dosvid rozbudovy transportno-lohistychnykh tsestriv yak sposib rozvytku transportno-lohistychnoyi infrastruktury. *Svitove hospodarstvo I mizhnarodni iekonomichni vidnosyny*. Vyp. 8. P. 215–218. [in Ukrainian].
- [9] Repich T. A., Velykyi D. YU. (2017) Optyimizatsiya lohistychnoyi infrastruktury mizhnarodnykh vantazhnykh perevezhen'. *Efektyvna ekonomika*. DDAEU. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=5377>. [in Ukrainian].
- [10] Pasichnyk A. M. (2016) Metodolohiya formuvannya lohistychnoyi transportno-mytnoyi infrastruktury v Ukrayini: monohrafiya /za red. A. M. Pasichnyka. Dnipropetrovs'k: UMSF. 168 p. [in Ukrainian].
- [11] Baulina H. S. (2013) Formuvannya modeli funktsionuvannya transportno-lohistychnoho tsentru. *Zbirnyk naukovykh prats' UkrDAZT*. V. 137. P. 95–99. [in Ukrainian].
- [12] Bulat A. F., Kisel'ova O. M., Hart L. L., Prytomanova O. M. (2023) Matematychni modeli dvoetapnykh zadach optymal'noho rozmishchennya-rozbyttya v umovakh nevyznachenosti. *Pytannya prykladnoy imatematyky I matematychnoho modelyuvannya*. Vyp. 22. SP.11–23. [in Ukrainian].
- [13] Pasichnyk A. M., Lebid' I. H., Kushchenko YE. S. (2022) Analiz efektyvnosti pobudovy merezhi transportno-lohistychnykh kompleksiv na osnovi faktorno-reytnhovoyi modeli. *Transportni systemy I tekhnolohiyi*. K.: DUIT. Vyp. 39. P. 216–22. [in Ukrainian].
- [14] Dudorova T. (2019) Structure of logistic transportation customs complex. *MANAGEMENT*. Issue 1 (29). P. 89–96. DOI: 10.30857/2415-3206.2019.1.7
- [15] Pasichnyk A. M., Vitruk I. P., Kutyryev V. V. (2013) Faktory, shcho vplyvayut' na formuvannya transportno-lohistychnykh merezh. *Proektuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya avto-transportnykh zasobiv*. Vyp. 21. P.167–177. [in Ukrainian].

Список використаної літератури

1. Кузьменко А.В. Досвід та закономірності формування світової транспортно-логістичної інфраструктури. *Науковий огляд*, 2015. №7(17). С.5–18.
2. Полякова О.М., Шраменко О.В. Сучасні тенденції розвитку транспортно-логістичної інфраструктури в Україні і світі. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2017. № 58. С. 126–134.
3. Вата З. Сучасні тенденції інноваційного розвитку транспортно-логістичного комплексу європейського союзу. *Галицький економічний вісник*. 2013. №1(40). С.11–18.

4. Кузьменко К.М. Основні аспекти розвитку транспортного комплексу України за критеріями інтеграції. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2021. № 1 (74). С. 52–64.
5. Благун І.С., Ничик І.Л. Формування логістичної інфраструктури західного регіону. *Причорноморські економічні студії*, 2017. Вип. 18. С.215–218.
6. Ковальська Л.Л., Савка Б.Р. Логістична інфраструктура регіону: особливості формування та розвитку: монографія. Луцьк: СПД Галяк Жанна, друкарня «Волиньполіграф», 2013. 286 с.
7. Полянська А.С. Формування логістичної інфраструктури регіону. *Актуальні проблеми розвитку економіки регіону*. 2014. Вип. 10. С. 126–136.
8. Ярошенко Л.Л. Міжнародний досвід розбудови транспортно-логістичних центрів як спосіб розвитку транспортно-логістичної інфраструктури. *Світове господарство і міжнародні економічні відносини*. 2016. Вип. 8. С. 215–218.
9. Репіч Т.А., Великий Д.Ю. Оптимізація логістичної інфраструктури міжнародних вантажних перевезень. *Ефективна економіка*. ДДАЕУ. 2017. № 1. – URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=5377>.
10. Пасічник А.М. Методологія формування логістичної транспортно-митної інфраструктури в Україні: монографія /за ред. А. М. Пасічника. Дніпропетровськ: УМСФ, 2016. 168 с.
11. Бауліна Г.С. Формування моделі функціонування транспортно-логістичного центру. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2013. В. 137. С. 95–99.
12. 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*. 2023. Вип. 22. С.11–23.
13. Пасічник А.М., Лебідь І.Г., Кущенко Є.С. Аналіз ефективності побудови мережі транспортно-логістичних комплексів на основі факторно-рейтингової моделі. *Транспортні системи і технології*. К.: ДУІТ, 2022. Вип. 39. С. 216–228
14. Dudorova T. Structure of logistic transportation customs complex. *MANAGEMENT*, 2019, Issue 1 (29). P. 89–96. DOI: 10.30857/2415-3206.2019.1.7
15. Пасічник А.М., Вітрух І.П., Кутирев В.В. Фактори, що впливають на формування транспортно-логістичних мереж. *Проектування, виробництво та експлуатація автотранспортних засобів*. 2013. Вип. 21. С.167–177.

Надійшла до редколегії 09.10.2023