УДК 656.025.4
JEL L 90
ORCID ID: 0000-0003-2820-6054
DOI https://doi.org/10.17721/tppe.2023.47.19

Тараненко О.С., асп.
КНУ імені Тараса Шевченка

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ РОЗМІЩЕННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРІВ КУР'ЄРСЬКИХ ТА ПОШТОВИХ СЛУЖБ

Розглянуто методичні аспекти формування мережі транзитних терміналів логістичної компанії. Важливість проблеми пошуку оптимального підходу до формування мережі транзитних терміналів логістичної компанії пояснюється необхідністю діагностики та реалізації організаційних резервів підвищення ефективності бізнес-процесів поштових та кур'єрських служб. Особливістю запропонованого підходу є застосування ітеративної процедури, яка дозволяє розглянути значну кількість варіантів побудови мережі й обрати з них оптимальний за критерієм мінімізації сукупних витрат на перевезення вантажів. Ефективність окремих варіантів побудови мережі забезпечується застосуванням методів кластеризації для розподілу сукупності відділень-відправників вантажів на підгрупи.

***Ключові слова**:* логістика, логістичні термінали, логістичні центри, логістична мережа, транспортна мережа, кластеризація, бізнес-процеси.

Постановка проблеми. Забезпечення високої ефективності бізнес-процесів в логістиці традиційно розглядається як одна з базових передумов розвитку економіки. Проте в умовах надзвичайних викликів, обумовлених активною фазою військової агресії проти України, підтримання логістичних процесів на належному рівні стало запорукою збереження державності нашої країни. Це особливо наочно ілюструють цілеспрямовані атаки агресора як на цивільну логістичну інфраструктуру, так і, останнім часом, на самі логістичні компанії.

За таких умов особливої актуальності набуває задача пошуку резервів підвищення ефективності логістичних процесів, серед яких можна окремо виділити напрямок, пов'язаний організаційними резервами оптимізації руху матеріальних потоків. Це пояснюється тим, що реалізація організаційних резервів зазвичай потребує залучення мінімальних інвестицій порівняно з реалізацію інших типів резервів. Вказана обставина є вкрай важливою, оскільки доступ до джерел фінансових ресурсів за поточних обставин є обмежений через концентрацію фінансового потенціалу на вирішенні оборонних задач.

На рівні окремих логістичних компаній одним з напрямів реалізації організаційних резервів є вирішення задачі оптимального розміщення логістичних центрів, що створює передумови підвищення ефективності транспортних процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема оптимального розміщення логістичних центрів висвітлюється в працях як вітчизняних, так й іноземних дослідників. Окремо можна виділити працю Талібова А.М., Гасімова Є.Г. та ін. [1], в якій розглядається оптимальне розміщення логістичних центрів на прикладі логістичної системи Азербайджану. Попри значні особливості та специфіку цієї логістичної системи, досвід Азербайджану може бути корисним для України, оскільки функціонування та розвиток логістичної системи Азербайджану відбувався в умовах тривалого військового конфлікту. Важлива роль ефективної логістичної системи у розв'язанні цього конфлікту на користь Азербайджану є незаперечною, а отже викликає зацікавленість. Поточний стан розвитку логістичних центрів України в умовах активної фази агресії досліджено в роботі Дичковської О.А., Решетнікової О. [2]. В ній, зокрема, наведено оцінки втрат логістичної системи, які мали місце на час проведення дослідження. В роботі Ауліна В.В., Голуба Д.В., Біліченко В.В. запропоновано методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем при забезпеченні надійності транспортних послуг [3].

Методичним аспектам оптимізації місць територіального розміщення функціональних регіональних логістичних центрів централізованої логістичної мережі присвячена робота Струтинської Л.Р., Афтаназіва І.С. та ін. [4]. З множини різних методичних підходів до розв'язування задачі оптимального розміщення логістичних центрів перспективною виглядає орієнтація на застосування апарату імітаційного моделювання, приклад якого розглянуто, зокрема, в роботі А.В. Катренко, Т.І. Антоняк [5].

Невирішені частини проблеми. Крім теоретико-методичних напрацювань, проблемі оптимального розміщення логістичних центрів приділяється значна увага й на бізнес-рівні в діяльності логістичних компаній, зокрема, й ТОВ «Нова Пошта», де була розроблена імітаційна модель для оптимізації транспортних потоків в використанням авіаційного коридору доставки вантажів між східними та західними регіонами України. Проте активна фаза агресії призвела до закриття повітряного простору над Україною, що зумовило необхідність пошуку альтернативних варіантів оптимізації логістичних процесів з врахуванням нових обмежень. Це, в свою чергу, обумовлює доцільність розробки нового методичного підходу на основі опрацювання накопиченого наукового інструментарію та практичного досвіду діяльності логістичної компанії «Нова Пошта» в умовах воєнного стану.

Метою роботи є розвиток методичних засад застосування кластеризації для вирішення проблеми оптимального розміщення логістичних центрів на прикладі транзитних терміналів логістичної компанії.

Методологія дослідження. Вирішення проблеми оптимального розміщення транзитних терміналів логістичної компанії потребує комплексного підходу. При цьому до ключових проблем, що потребують розв'язування, можна віднести задачу кластеризації відділень-відправників вантажів, а також задачу визначення місця розташування транзитного терміналу для групи відділень-відправників вантажів, які повинен обслуговувати відповідний транзитний термінал.

Розв'язування першої з вказаних вище задач можливе з використанням різних методів кластеризації, розглянутих, зокрема, в [6]. При цьому з множини відомих методів кластеризації для поділу сукупності відділень-відправників вантажів на групи найбільш підходять методи жорсткої кластеризації. До них відносяться метод К-середніх, метод К-медіан, метод зсуву середнього значення, методи ієрархічної кластеризації тощо.

Після розподілу усієї сукупності відділень-відправників вантажів на підгрупи з використанням певного методу кластеризації повинна бути вирішена задача визначення розташування транзитних терміналів, що обслуговують кожну підгрупу відділень. Найбільш простими способами вирішення цієї задачі є застосування методу відстані Евкліда, методу «Манхеттенських кварталів», методу центру ваги вантажних потоків. Проте також для цього можуть бути застосовані й більш складні оптимізаційні процедури.

Результати дослідження. Розглянемо більш докладно алгоритм розв'язування задачі розміщення логістичних центрів (транзитних терміналів) логістичної компанії, який у схематичному вигляді наведено на рис.1.

Першим кроком алгоритму є формування інформаційної бази (блок 1). Інформаційна база, необхідна для вирішення задачі формування оптимальної мережі транзитних терміналів, включає дані про розташування відділень-відправників вантажів, відділень чи терміналів отримувачів вантажів, обсяги середнього вантажообороту по вказаних відділеннях та координати розташування або відстані між ними. Крім того, потрібна інформація про вартісні параметри доставки вантажів як безпосередньо від відділень-відправників до відділень-отримувачів, так і через транзитні термінали.

Після формування інформаційної бази здійснюється перехід до другого блоку алгоритму – вибору першого методу кластеризації відділень-відправників вантажів. Загалом, який саме з методів кластеризації буде застосований першим, не є принциповим питанням й тому початковий метод може бути обраний довільним чином. Проте певна преференція може бути надана методу К-середніх. Номер методу кластеризації, який розглядається на певній ітерації алгоритму, присвоюється змінній ***i***. При цьому загальна кількість методів кластеризації, що розглядається в рамках оптимізаційної процедури, дорівнює ***m***.

Блок 3 полягає в застосуванні обраного ***i***-го методу кластеризації. На першій ітерації це буде перший метод кластеризації (наприклад, метод К-середніх). В результаті застосування відповідного методу кластеризації уся сукупність відділень-відправників вантажів розподіляється на певну кількість підгруп (кластерів). Для кожного кластеру повинна бути розв'язана задача найбільш ефективного розміщення транзитного терміналу, який дозволить мінімізувати сукупні транспортні витрати на доставку клієнтських відправлень. При цьому мають дотримуватися ряд додаткових обмежень (вантажопідйомність транспортних засобів, граничний час доставки тощо).

Розв'язок задачі найбільш ефективного розміщення транзитного терміналу також допускає застосування різних методів, що спричиняє цикл другого рівня.

Блок 4 розпочинає цикл другого рівня й він передбачає вибір першого методу розміщення транзитного терміналу для ***i***-го способу розподілу відділень-відправників вантажів на кластери. Таким методом може бути метод центру ваги вантажних потоків.

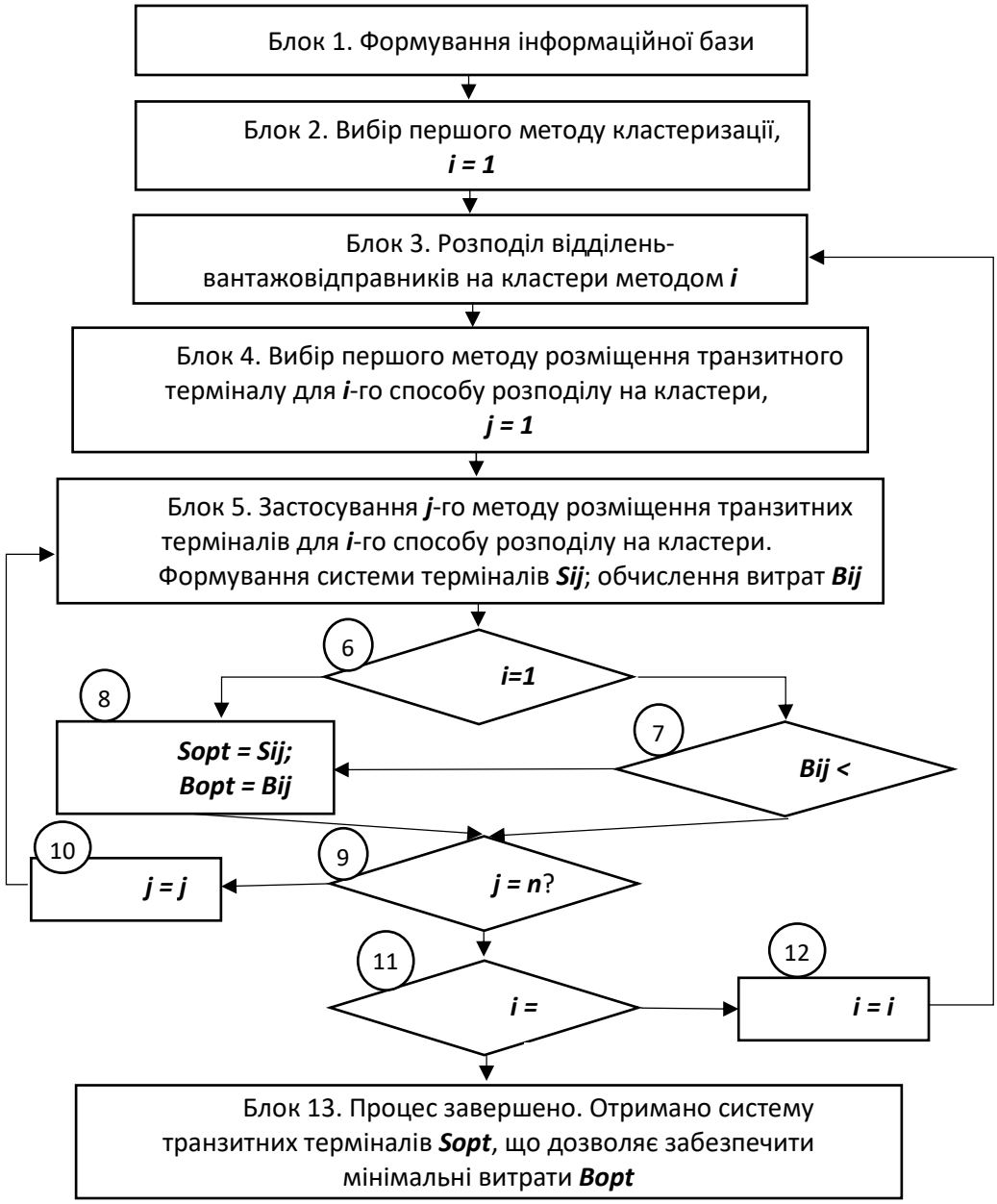


Рис. 1. Алгоритм оптимізації розміщення транзитних терміналів логістичної компанії

Джерело: побудовано автором.

Для застосування цього методу необхідно мати інформацію про координати відділень-відправників певного кластеру, а також обсяги вантажообороту цих відділень. Тоді координати транзитного терміналу (x, y) можна визначити за формулами (1) та (2) відповідно:

$$x = \frac{\sum_{k=1}^{L} G_k \cdot x_k}{\sum_{k=1}^{L} x_k} \quad (1)$$

$$y = \frac{\sum_{k=1}^{L} G_k \cdot y_k}{\sum_{k=1}^{L} y_k} \quad (2)$$

де:

L – кількість відділень-відправників вантажу, що віднесені до кластеру, який розглядається на відповідній ітерації;

k – індекс *k-го* відділення-відправника вантажу $k \in [1, L]$;

x_k – координата «х» *k-го* відділення-відправника вантажу;

y_k – координата «у» *k-го* відділення-відправника вантажу;

G_k – обсяг вантажообороту *k-го* відділення-відправника вантажу.

Проте формальне застосування обчислених за формулами (1) та (2) координат транзитного терміналу може призвести до нераціональних з практичної точки зору рішень. Це пояснюється тим, що координати центру ваги вантажних потоків можуть відповідати місцевості, в якій не лише відсутні придатні для розміщення транзитного терміналу приміщення чи можливість їх побудови, а яка взагалі позбавлена транспортних комунікацій та інфраструктури.

Для запобігання вказаним проблемам, доцільно попередньо визначити множину потенційно можливих локацій транзитного терміналу, кількість яких позначимо *F*. Також застосуємо індекс *s* для позначення номеру потенційного варіанту розміщення транзитного терміналу $s \in [1, F]$. Тоді для визначення найкращого варіанту з множини припустимих можна обчислити відстані Евкліда або відстані «Манхеттенських кварталів». Формула відстані Евкліда (L_{sk}^{E}) має вигляд:

$$L_{sk}^{E} = \sqrt{(x_s - x_k)^2 + (y_s - y_k)^2} \quad (3)$$

де:

x_s – координата «х» *s-го* варіанту потенційного розташування транзитного терміналу;

y_s – координата «у» *s-го* варіанту потенційного розташування транзитного терміналу.

За критерієм відстані Евкліда найкращим буде той з потенційно можливих варіантів розташування транзитного складу, для якого сумарне значення відстані до усіх відділень-відправників вантажу даного кластеру є найменшим.

Формула (3) враховує фактор територіальної віддаленості відділень відправників та потенційних місць розташування центрального терміналу, проте вантажообороти відділень при цьому ігноруються. В разі, якщо є необхідність врахувати також величини вантажооборотів, слід скористатися такою модифікацією формули:

$$L_{sk}^{E} = G_k \cdot \sqrt{(x_s - x_k)^2 + (y_s - y_k)^2} \quad (4)$$

Крім відстані Евкліда, також може бути розглянутий критерій відстані «Манхеттенських кварталів». На відміну від відстані Евкліда, яка дозволяє оцінити найкоротшу відстань між двома точками на площині (довжину відрізка, що їх сполучає), відстань «Манхеттенських кварталів» являє собою суму довжини катетів прямокутного трикутника, гіпотенузою якого є відрізок, що з'єднує ці дві точки на площині. У вигляді формули відстань «Манхеттенських кварталів» (L_{sk}^{M}) може бути представлене таким виразом:

$$L_{sk}^{M} = |x_s - x_k| + |y_s - y_k| \quad (5)$$

Подібно до підходу, заснованому на відстані Евкліда, формулу (5) теж можна модифікувати, щоб вона враховувала величини вантажообротів відділень:

$$L_{sk}^{M} = G_k \cdot (|x_s - x_k| + |y_s - y_k|) \quad (6)$$

Крім вказаних вище методів, орієнтованих на вирішення задачі розміщення транзитного терміналу для групи відділень-відправників вантажу за даними координат розташування цих відділень, також ця задача може бути вирішена на основі інформації про матрицю попарних відстаней між відділеннями. Такий підхід дозволяє врахувати фактичну конфігурацію транспортної мережі, що поєднує відділення.

Номер методу розміщення транзитного терміналу присвоюється змінній ***j***. Будемо вважати, що кількість методів розміщення транзитних терміналів дорівнює ***n***.

Блок 5 полягає в застосуванні ***j***-го методу розміщення транзитних терміналів для ***i***-го способу розподілу на кластери. В результаті цього формується система транзитних терміналів ***Sij***, для якої обчислюється рівень транспортних витрат ***Bij***.

Блок 6 вирішує задачу перевірки чи не є поточна ітерація першою (для першої ітерації номери обох змінних ***i*** та ***j*** дорівнюють одиниці). Необхідність цієї перевірки пояснюється тим, що відсутня база для порівняння витрат (***B₁₁***), які відповідають транзитній мережі, побудованій на першій ітерації. Тому перевірка оптимальності, яка на інших ітераціях здійснюється в блоці 7, на першій ітерації не потрібна. Разом з тим, якщо стартова база для порівняння (***Bopt***) в певний спосіб задається (наприклад, за такий рівень може бути прийнято фактичний рівень витрат логістичної системи, якщо вона вже функціонує, або довільне достатньо велике число, якщо система лише проектується), тоді потреба в блоці 6 відпадає й можна відразу переходити до блоку 7.

Якщо поточна ітерація є першою, то перевірка оптимальності, передбачена блоком 7, не здійснюється. Відбувається перехід до блоку 8. Сутність цього блоку полягає у фіксації мінімального рівня транспортних витрат ***Bopt***, який досягнуто на відповідній ітерації. Також запам'ятовується, яка саме мережа дозволяє досягти цього мінімального рівня витрат (вона запам'ятовується як ***Sopt***).

Перехід до блоку 9 здійснюється як після блоку 8 (фіксації локально оптимальної мережі), так і може бути здійснений після блоку 7, якщо рівень витрат побудованої на поточній ітерації мережі є не меншим, ніж попередній оптимальний рівень.

Задача блоку 9 полягає перевірці умови «чи ***j*** дорівнює ***n***». Якщо вона не виконується, це означає, що для даного методу кластеризації ще не розглянуто усі

методи розміщення транзитних терміналів. Тому здійснюється перехід до блоку 10, який означає перехід до наступного методу розміщення транзитних терміналів. Після цього алгоритм передбачає повернення до блоку 5.

Якщо ж умова блоку 9 виконується, здійснюється перехід до блоку 11. В цьому блоці перевіряється умова «чи ***i*** дорівнює ***m***». Якщо вона не виконується, це означає, що на поточній ітерації ще не розглянуто усі методи кластеризації. Тоді здійснюється перехід до блоку 12, що означає вибір наступного методу кластеризації. Після цього відбувається повернення до блоку 3.

Якщо ж умова блоку 9 виконується, тоді здійснюється перехід до блоку 13, що означає завершення ітеративної процедури.

Висновки. Застосування розглянутого алгоритму дозволяє отримати систему транзитних терміналів ***Sopt***, що характеризується мінімальними витратами на обслуговування транспортних потоків. Мінімізація транспортних витрат забезпечується шляхом ефективного поєднання методів кластеризації, що забезпечують оптимальний розподіл мережі відділень-відправників вантажів на групи (серед яких особливо варто виділити методи жорсткої кластеризації – метод К-середніх, метод К-медіан, метод зсуву середнього значення, методи ієрархічної кластеризації тощо), та методів визначення оптимального розташування транзитного терміналу для обслуговуваної групи відділень-відправників вантажів (зокрема, методу відстані Евкліда, методу «Манхеттенських кварталів», методу центру ваги вантажних потоків).

Перспективи подальших досліджень. Розглянутий алгоритм вирішення проблеми оптимального розміщення логістичних центрів може бути вдосконалений за результатами його апробації на даних компанії «Нова пошта».

Серед перспективних напрямків вдосконалення запропонованого алгоритму можна особливо виділити застосування спеціалізованих оптимізаційних методів розміщення транзитних терміналів для заданих варіантів кластеризації системи відділень-відправників вантажів.

Література

1. Talibov, A & Hashimov, Elshan & Sabziev, Elkhan & Pashayev, A. (2023). On the optimal placement of logistics centers // Informatics and Control Problems. – №43, Issue 2. – p. 51-58. 10.54381/icp.2023.2.07.
2. Dyczkowska, J.A.; Reshetnikova, O. Logistics Centers in Ukraine: Analysis of the Logistics Center in Lviv. Energies 2022, 15, 7975. https://doi.org/10.3390/en15217975.
3. Аулін В.В. Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, В.В. Біліченко // Вісник машинобудування та транспорту. – No1(7), 2018. – С. 4-9.
4. Струтинська Л.Р. Визначення місць оптимального розташування регіональних логістичних центрів / Л.Р. Струтинська, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, Н.В. Ортинська // Науковий вісник НГУ. Економіка та управління. – №6, 2018. – С. 148-155.
5. Катренко А.В. Розв'язання задач оптимального розміщення об'єктів методом імітаційного моделювання / А.В. Катренко, Т.І. Антоняк // Інформаційні системи та мережі. – № 715, 2011. – С. 150-162.
6. Jain A., Murty M., Flynn P. (1999) Data Clustering: A Review // ACM Computing Surveys. – Volume 31, Issue 3. – p. 264-323. https://doi.org/10.1145/331499.331504.

References

1. Talibov, A & Hashimov, Elshan & Sabziev, Elkhan & Pashayev, A. (2023). On the optimal placement of logistics centers // Informatics and Control Problems. – №43, Issue 2. – p. 51-58. 10.54381/icp.2023.2.07.
2. Dyczkowska, J.A.; Reshetnikova, O. Logistics Centers in Ukraine: Analysis of the Logistics Center in Lviv. Energies 2022, 15, 7975. https://doi.org/10.3390/en15217975.
3. Aulin V.V. Metodolohichnyi pidkhid do vyznachennia rivnia yakosti funktsionuvannia transportnykh system / V.V. Aulin, D.V. Holub, V.V. Bilichenko // Visnyk mashynobuduvannia ta transportu. – No1(7), 2018. – S. 4-9.
4. Strutynska L.R. Vyznachennia mists optymalnoho roztashuvannia rehionalnykh lohistychnykh tsentriv / L.R. Strutynska, I.S. Aftanaziv, O.I. Strohan, N.V. Ortynska // Naukovyi visnyk NHU. Ekonomika ta upravlinnia. – №6, 2018. – S. 148-155.
5. Katrenko A.V. Rozviazannia zadach optymalnoho rozmishchennia obiektiv metodom imitatsiinoho modeliuvannia / A.V. Katrenko, T.I. Antoniak // Informatsiini systemy ta merezhi. – № 715, 2011. – S. 150-162.
6. Jain A., Murty M., Flynn P. (1999) Data Clustering: A Review // ACM Computing Surveys. – Volume 31, Issue 3. – p. 264-323. https://doi.org/10.1145/331499.331504.

O. Taranenko, graduate student
Taras Shevchenko National University of Kyiv

METHODOLOGICAL ASPECTS OF LOCATION OF LOGISTICS CENTERS OF COURIER AND POSTAL SERVICES

The task of finding organizational reserves to increase the efficiency of business processes of logistics companies by optimizing the movement of material flows is considered. The focus on organizational reserves, the implementation of which requires the involvement of minimal investments compared to other types of reserves, considering the limited access to sources of financial resources in the conditions of martial law, is rational. At the level of individual logistics companies, one of the areas of implementation of organizational reserves is solving the problem of optimal placement of logistics centers, which creates prerequisites for increasing the efficiency of business processes.

Methodical aspects of forming a network of transit terminals of a logistics company are considered. A feature of the proposed approach is the use of an iterative procedure, which allows considering a significant number of network construction options and selecting the optimal one based on the criterion of minimizing the total cost of cargo transportation.

The minimization of transport costs is ensured by an effective combination of clustering methods, that ensure the optimal distribution of the network of cargo-sending branches into groups, and methods of determining the optimal location of the transit terminal for the serviced group of cargo-sending branches. Among the methods of clustering in the context of the considered problem, it is especially possible to highlight the methods of hard clustering, namely the K-means method, the K-median method, the method of mean shift, methods of hierarchical clustering, etc. Methods for determining the optimal location of a transit terminal for a group of cargo-shipping departments include the Euclidean distance method, the method of the center of gravity of cargo flows, and others.

Keywords: *logistics, logistics terminals, logistics centers, logistics network, transport network, clustering, business processes.*