

КІЛЬКІСНІ МЕТОДИ В ЕКОНОМІЦІ. ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА

DOI: <http://dx.doi.org/10.30970/ves.2023.65.0.6515>

УДК 330.4:658.7

JEL C 61, L 92

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНОГО ЦЕНТРУ

Богдан Мельник, Назар Дума, Наталія Мельник

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
79008, м. Львів, просп. Свободи, 18,*

e-mail: bohdan.melnyk@lnu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6399-6317>

e-mail: Nazar.Duma@lnu.edu.ua

e-mail: nataliia.melnyk@lnu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0745-7527>

Анотація. Статтю присвячено визначенню оптимального розташування транспортно-логістичного центру автотранспортного підприємства, яке надає транспортні послуги в обмеженому регіоні. Критерієм оптимізації вибрано сумарну довжину шляхів сполучення транспортно-логістичного центру з клієнтами транспортного підприємства. Обґрунтовано вибір математичної моделі для визначення оптимального розташування транспортно-логістичного центру. Модель передбачає виконання двох етапів. На першому етапі визначають окіл, в якому буде розташовано транспортно-логістичний центр. На другому етапі визначають точні координати його розміщення. Сформульовано дві відповідні нелінійні оптимізаційні задачі. Розглянуто часткові випадки другої задачі. Для розв'язування оптимізаційних задач вибрано метод зведеного градієнта. Запропоновано програмне середовище для їх розв'язування. Запропоновану модель апробовано на тестовому прикладі. Визначено напрями подальших досліджень.

Ключові слова: транспортно-логістичний центр, клієнт автотранспортного підприємства, оптимізаційна задача, координати, метод зведеного градієнта.

Постановка проблеми. Сьогодні логістичні процеси присутні у різних галузях діяльності людини, починаючи від військової справи і закінчуючи медициною, навчанням, вирішенням екологічних проблем тощо. Усі ці процеси у тій чи іншій мірі пов'язані матеріальними потоками, в яких лівову частку займає переміщення матеріальних цінностей. У сучасних умовах це переміщення здійснюють за допомогою відповідних транспортних засобів. Тому транспортна логістика, як складова певної логістичної системи, відіграє суттєву роль.

До переліку основних завдань транспортної логістики відносять оптимізацію маршрутів, якими транспортують матеріальні цінності в межах ланки логістичної системи. Одним із критеріїв такої оптимізації є зменшення затрат на транспортування завдяки скороченню шляхів сполучення між кінцевими пунктами. Для транспортного підприємства, яке обслуговує своїх клієнтів через транспортно-логістичний центр (ТЛЦ), це можна досягнути, зокрема, шляхом вибору такого місця розташування ТЛЦ, щоб сумарна довжина шляхів сполучення від нього до місць розташування усіх клієнтів була якомога менша. Це дає змогу економити на паливно-мастильних матеріалах, часі перевезень, амортизаційних витратах транспортних засобів, а також оперативно маніпулювати наявними у регіоні транспортними засобами підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження в галузі транспортної логістики нині надзвичайно популярні у цілому світі. Це обумовлено глобальною інтеграцією різноманітних транспортних потоків. У цій царині можна виділити кілька напрямів дослідження, в яких працюють велика когорта вітчизняних учених. Серед цих напрямів варто назвати такі. Дослідження концептуальних засад створення і функціонування транспортно-логістичних систем [1] і, зокрема, регіональних [2], а також загальної організації транспортно-логістичного сервісу [3]. Дослідження підходів до формування транспортно-логістичної мережі на основі ТЛЦ [4,5]. Економіко-математичне моделювання у галузі транспортної логістики [6]. Усе більшої популярності набувають дослідження, пов'язані з геологістикою [7,8].

Однак, незважаючи на широкий спектр досліджень у галузі транспортної логістики, існує низка прикладних задач, які потребують певного розв'язання, шляхом побудови якісних математичних моделей. Це, зокрема, задачі геологістичного спрямування, що стосуються визначення оптимального розміщення елементів транспортної логістичної системи.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є розроблення математичної моделі для визначення оптимального місця розташування ТЛЦ, який обслуговує низку клієнтів автотранспортного підприємства у певному обмеженому регіоні. За критерій оптимальності виберемо сумарну довжину шляхів сполучення між місцем розташування ТЛЦ і місцями розташування клієнтів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досягнення поставленої мети дослідження розглянемо абстрактну ситуацію. А саме: нехай у певному обмеженому регіоні автотранспортне підприємство перевозить вантажі від власного ТЛЦ до власних клієнтів, або ж навпаки: від клієнтів до ТЛЦ. Структура перевезень така, що можливі лише радіальні маршрути поїздки автотранспорту між окремим клієнтом і ТЛЦ. Тобто маршрути з хордовими елементами, коли транспорт на шляху від одного клієнта до ТЛЦ потрапляє у місце розташування іншого клієнта, – заборонені.

Умовно обмежимо площу регіону, у якому розмішуються усі клієнти автотранспортного підприємства і його ТЛЦ, квадратом з одиничною нормованою довжиною стороною. Тобто, якщо реальні розміри регіону можна обмежити квадратом з стороною 100 км, то ввівши коефіцієнт нормування 0,01 отримуємо квадрат зі стороною 1. З урахуванням цього коефіцієнту згодом обчислюють реальні координати точок у

межах реального (ненормованого) квадрату. А в межах нормованого квадрату відповідні нормовані координати по осі абсцис X і осі ординат Y будуть мати значення від 0 до 1.

Нехай транспортне підприємство обслуговує n клієнтів, які розташовані у різних точках відповідного регіону. Позначимо нормовану координату i -го клієнта по осі абсцис як a_i , а по осі ординат – як b_i ($i = 1, n$). Відповідні нормовані координати ТЛЦ позначимо через x_0 і y_0 . Нормовану відстань від ТЛЦ до i -го клієнта позначимо через L_i .

На рис. 1 подано приклад взаємного розміщення п'яти клієнтів і ТЛЦ у межах нормованого квадрата.

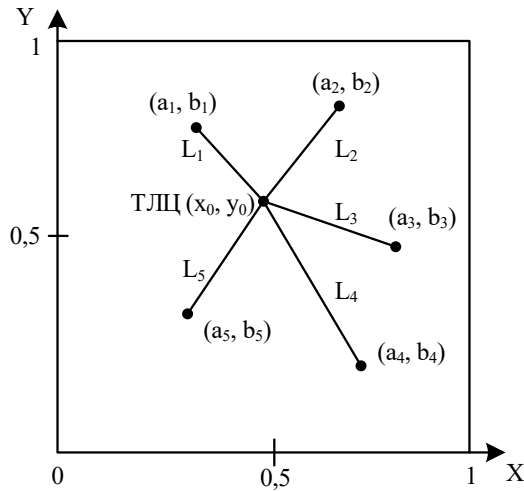


Рис. 1. Розміщення 5 клієнтів і ТЛЦ у межах нормованого квадрата

Відстань від ТЛЦ до i -го клієнта обчислюють за формулою:

$$L_i = \sqrt{(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2}. \tag{1}$$

Сумарну довжину відстаней від ТЛЦ до усіх n клієнтів відповідно обчислюють за формулою:

$$S = \sum_{i=1}^n \sqrt{(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2}. \tag{2}$$

За умовою задачі сумарна довжина відстаней від ТЛЦ до усіх клієнтів повинна бути мінімальною. Тобто необхідно знайти значення координат x_0 і y_0 , для яких функція мети (2) досягне мінімуму за умови, що точка з цими координатами знаходиться в межах нормованого квадрату ($0 \leq x_0 \leq 1; 0 \leq y_0 \leq 1$). Отже, для обчислення оптимальних значень координат x_0 і y_0 необхідно розв'язати оптимізаційну задачу такого виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} S = \sum_{i=1}^n \sqrt{(a_i - x_0)^2 + (b_i - y_0)^2} \rightarrow \min_{x_0, y_0} . \\ 0 \leq x_0 \leq 1 \\ 0 \leq y_0 \leq 1 \end{array} \right. \quad (3)$$

Очевидно, що математична модель у формі оптимізаційної задачі (3) буде адекватною лише тоді, коли автомобільні шляхи від ТЛЦ до клієнта є у вигляді прямих ліній, або ж мають незначну кривизну. Зауважимо, що таку модель можна застосовувати без застережень у разі, коли для перевезення вантажів від ТЛЦ до клієнта і в зворотному напрямі використовують літальні апарати. Наприклад, доставка дроном бандеролей від поштового відділення до поштового адресата.

У реальності автомобільний шлях, зазвичай, – це далеко не пряма лінія. Тому довжина шляху між ТЛЦ та i -им клієнтом є більша за відстань по прямій, яку обчислюють за формулою (1). З огляду на це, розв'язок оптимізаційної задачі (3) є лише нульовим наближенням оптимального місця розташування ТЛЦ.

Отже, будемо вважати точку з координатами x_0 і y_0 які були обчислені у результаті розв'язання оптимізаційної задачі (3), центром певного околу, в якому буде знаходитися оптимальна точка, в якій буде розташовано ТЛЦ. Нормовані координати цієї точки позначимо як x^* і y^* . Будемо вважати, що в межах цього околу існують початкові прямолінійні ділянки на шляхах від ТЛЦ до відповідних клієнтів. Очевидно, що координати початку кожної такої ділянки – це координати точки розташування ТЛЦ, тобто x^* і y^* . Позначимо відповідні нормовані координати закінчення початкової прямолінійної ділянки на шляху від ТЛЦ до i -го клієнта, як c_i і d_i .

Довжину l_i початкової прямолінійної ділянки шляху обчислюють за формулою:

$$l_i = \sqrt{(c_i - x^*)^2 + (d_i - y^*)^2} . \quad (4)$$

Обмежимо окіл з початковими прямолінійними ділянками шляхів квадратом зі стороною $2 \cdot \Delta$, центр якого знаходиться у тоці з координатами x_0 і y_0 . Тоді координати вершин цього квадрата такі: $(x_0 - \Delta, y_0 - \Delta)$, $(x_0 - \Delta, y_0 + \Delta)$, $(x_0 + \Delta, y_0 - \Delta)$, $(x_0 + \Delta, y_0 + \Delta)$. Δ вибирають з урахуванням топографічних умов місцевості і стану дорожньої інфраструктури. З урахуванням координат визначених таким чином вершин квадрата задають обмеження на значення координат x^* і y^* .

Позначимо довжина частини шляху між ТЛЦ та i -им клієнтом, яка не включає початкової прямолінійної ділянки як w_i . Тоді загальну довжину цього шляху обчислюють за формулою:

$$Z_i = \sqrt{(c_i - x^*)^2 + (d_i - y^*)^2} + w_i . \quad (5)$$

На рис. 2 проілюстровано наші попередні міркування для випадку трьох клієнтів.

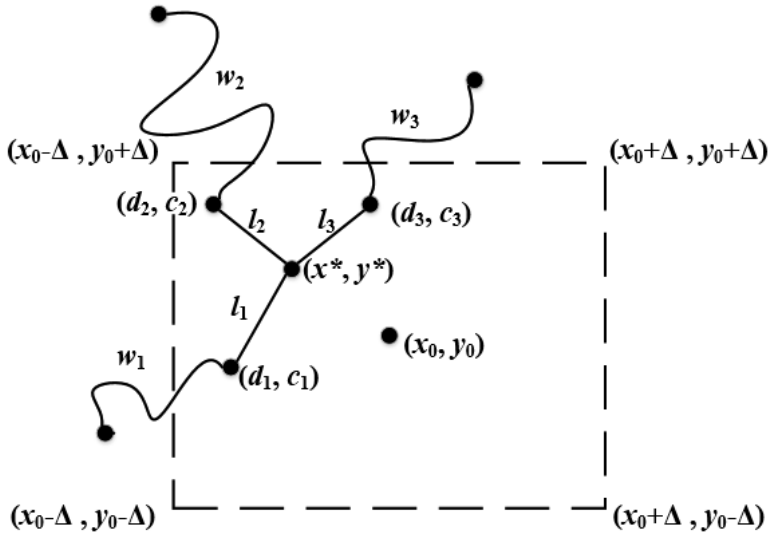


Рис. 2. Оптимальне розташування ТЛЦ у випадку трьох клієнтів

У загальному випадку (коли маємо n клієнтів) сумарну довжину усіх шляхів від ТЛЦ до усіх клієнтів обчислюють за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n (\sqrt{(c_i - x^*)^2 + (d_i - y^*)^2} + w_i). \quad (6)$$

Знову ж таки, за умовою задачі сумарна довжина усіх шляхів, яку обчислюють за формулою (6), повинна бути мінімальна за умови, що точка розташування ТЛЦ з координатами x^* і y^* буде знаходитися у середині визначеного попередньо квадрата з центром у точці з координатами x_0 , y_0 і стороною $2 \cdot \Delta$. Враховуючи це, можна сформулювати оптимізаційну задачу такого виду:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = \sum_{i=1}^n (\sqrt{(c_i - x^*)^2 + (d_i - y^*)^2} + w_i) \rightarrow \min_{x^*, y^*} \\ x_0 - \Delta \leq x^* \leq x_0 + \Delta \\ y_0 - \Delta \leq y^* \leq y_0 + \Delta \end{array} \right. \quad (7)$$

У результаті розв'язування цієї оптимізаційної задачі отримують нормовані координати оптимальної точки розташування ТЛЦ x^* і y^* з урахуванням кривизни шляхів між ТЛЦ і клієнтами транспортного підприємства.

Розглянемо частковий випадок. Нехай точка з координатами x_0 і y_0 , яку було знайдено у результаті розв'язування оптимізаційної задачі виду (3), знаходиться близько до меж нормованого квадрату. Це значить, що квадрат, який обмежує окіл з початковими прямолінійними ділянками шляху між ТЛЦ і клієнтами, в залежності від вибраної величини Δ , може певною своєю частиною вийти за межі нормованого квадрату. У цьому випадку результати розв'язання оптимізаційної задачі (7) теоретично можуть не відповідати початковій умові, згідно з якою точка розташування ТЛЦ повинна бути у середині нормованого квадрату.

Найпростішим рішенням для уникнення виходу за межі нормованого квадрату є зменшення величини Δ до відстані між відповідною стороною нормованого квадрату і найближчою координатою з пари x_0 і y_0 . Однак, у цьому разі квадрат з центром у точці з координатами x_0 і y_0 може бути настільки малим, що всі чи більша частина початкових прямолінійних ділянок шляхів між ТЛЦ і клієнтами будуть закінчуватися далеко за межами цього квадрату. Тоді відпадає потреба у застосуванні оптимізаційної задачі виду (7). Тобто кривизна шляхів не буде врахована.

На наш погляд кращим вирішенням проблеми є обмеження околу початкових прямолінійних ділянок шляхів не квадратом а прямокутником зі сторонами $f = \Delta + g$ і $r = \Delta + h$, де $g < \Delta$ і $h < \Delta$ – найкоротші відстані від координат x_0 і y_0 до відповідних сторін нормованого квадрата. Відповідно в оптимізаційній задачі виду (7) необхідно використати інші обмеження для x^* і y^* , наприклад, $x_0 - \Delta \leq x^* \leq x_0 + g$, $y_0 - \Delta \leq y^* \leq y_0 + h$ (рис. 3).

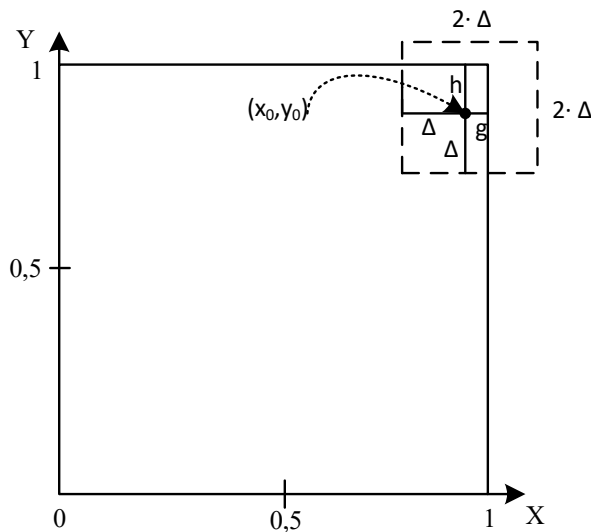


Рис. 3. Ілюстрація часткового випадку

Очевидно, що коли $g > \Delta$ і $h > \Delta$, тоді необхідно будувати квадрат зі стороною $2 \cdot \Delta$.

Розглянемо застосування запропонованих моделей для визначення оптимального місця розташування ТЛЦ автотранспортного підприємства, яке обслуговує 10 клієнтів. Нормовані координати клієнтів a_i і b_i подано у табл. 1.

Для розв'язання оптимізаційних задач виду (3) і (7) було застосовано метод зведеного градієнта [9], який програмно реалізовано в середовищі табличного процесора MS Excel.

Таблиця 1

Нормовані координати клієнтів

№ клієнта i	Координата a_i	Координата b_i
1	0,8	0,1
2	0,3	0,5
3	0,9	0,9
4	0,7	0,3
5	0,5	0,6
6	0,2	0,1
7	0,8	0,6
8	0,4	0,9
9	0,6	0,3
10	0,2	0,5

Дані табл. 1 було використано для формулювання оптимізаційної задачі виду (3). В результаті розв'язання цієї задачі було обчислено нульове наближення оптимального місця розташування ТЛЦ, а саме координати $x_0 = 0,53$, $y_0 = 0,48$.

Уточнення координат ТЛЦ з урахуванням кривизни шляхів здійснюють за допомогою розв'язання оптимізаційної задачі виду (7). Нормовані координати закінчення початкової прямолінійної ділянки на шляху від ТЛЦ до i -го клієнта, c_i і d_i , а також відповідна довжина іншої частини цього шляху w_i подано у табл. 2.

Для обмеження околу, в якому є початкові прямолінійні ділянки на шляхах від ТЛЦ до відповідних клієнтів, виберемо ϵ . Тоді, враховуючи, що центр цього околу, за результатами розв'язання попередньої оптимізаційної задачі має координати $x_0 = 0,53$, $y_0 = 0,48$, будемо мати такі обмеження для оптимізаційної задачі виду (7): $0,5 \leq x^* \leq 0,56$ і $0,45 \leq y^* \leq 0,51$.

Після розв'язання оптимізаційної задачі виду (7) з коефіцієнтами для функції мети, які вказані у табл. 2, і за визначених попередньо для неї обмежень отримують координати оптимального розміщення ТЛЦ, а саме: $x^* = 0,52$, $y^* = 0,45$.

Якщо нами було застосовано коефіцієнт нормування 0,01, тоді, відносно умовно вибраного початку координат, реальні координати розміщення 10 клієнтів автотранспортного підприємства і реальні оптимальні координати його ТЛЦ будуть, такі як показано у табл. 3.

Таблиця 2

Вхідні дані для оптимізаційної задачі виду (7)

№ клієнта i	Координата c_i	Координата d_i	Довжина не початкової частини шляху w_i
1	0,58	0,4	0,6
2	0,41	0,45	0,3
3	0,55	0,52	0,6
4	0,59	0,43	0,3
5	0,5	0,48	0,1
6	0,48	0,4	0,5
7	0,55	0,48	0,4
8	0,45	0,53	0,4
9	0,56	0,4	0,3
10	0,44	0,38	0,5

Таблиця 3

Реальні координати клієнтів і ТЛЦ

Координата	Номери клієнтів автотранспортного підприємства										ТЛЦ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
X, км	80	30	90	70	50	20	80	04	60	20	52
Y, км	10	50	90	30	60	10	60	90	30	50	45

Після накладання умовної координатної сітки на географічну карту можемо визначити реальне розміщення ТЛЦ.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дослідження, які представлено у цій статті, дають змогу визначити оптимальне розміщення ТЛЦ певного автотранспортного підприємства відносно його клієнтів у певному обмеженому регіоні. Однак розв'язана нами прикладна задача є частиною більш складної проблеми, яка повстає перед згаданим підприємством. А саме: підприємство може створювати ТЛЦ в кількох регіонах. Крім того, уся сукупність цих ТЛЦ може утворювати ієрархічну систему. Тобто створюються пов'язані між собою ТЛЦ різного рівня. За таких обставин для того, щоб вантаж був доставлений до клієнта, його спочатку необхідно доставити до ТЛЦ найвищого рівня, а згодом транспортувати від цього ТЛЦ через ТЛЦ проміжних рівнів до ТЛЦ найнижчого рівня, який безпосередньо обслуговує цього клієнта.

Отже, більш складна проблема полягає у тому, як оптимально розмістити один відносно одного усі ТЛЦ автотранспортного підприємства. До того ж, необхідно розглядати кілька варіантів: коли регіони, які обслуговуються різними ТЛЦ, розміщені далеко один від одного; коли ці регіони розміщені впритул один до одного; коли окремі регіони перекриваються між собою.

Важливим напрямом подальшого дослідження пов'язані з визначенням оптимального розміщення мультимодальних ТЛЦ [10]. Варто також розглянути оптимізаційні задачі, в яких враховується кілька критеріїв оптимальності.

Список використаних джерел

1. Устенко М. О. Основні напрямки розвитку та завдання транспортної логістики. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2015. Вип. 5. С. 251–254.
2. Копитко В. І. Управління транспортно-логістичними системами на регіональному рівні. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*. 2008. № 4(72). С. 45–53.
3. Попова Н. В., Шинкаренко В. Г. Сучасні тенденції розвитку транспортно-логістичних систем. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2016. № 53. С. 54–60.
4. Кірюхіна О. Ю. Транспортно-логістичний центр як ланка в системі комбінованих перевезень. URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Upsal/2008_5/08koysct.pdf (дата звернення: 23.12.2023).
5. Дашченко Н. М. Розвиток логістичних центрів на сучасному етапі. URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Upsal/2009_6/09dnmcps.pdf (дата звернення: 23.12.2023).
6. Пасічник А., Лебідь І., Кущенко Є. Аналіз ефективності побудови мережі транспортно-логістичних комплексів на основі факторно-рейтингової моделі. *Організація перевезень і безпека транспорту. Збірник наукових праць ДУІТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2022. Вип. 39. С. 216–228.
7. Ільєнко О. В., Катерна О. К. Геологістика: Навч. посібник. Київ: Кондор, 2016.
8. Грицевич В. С., Сеньків М. І. Поняттєво-термінологічні основи геологістики як актуального напрямку суспільної географії. *Економічна та соціальна географія*. 2017. Вип. 78. С. 53–59.
9. Charlie Young, P. E. Excel solver: which solving method should i choose? Engineerexcel. URL: <https://engineerexcel.com/excel-solver-solving-method-choose/> (дата звернення: 04.01.2024).
10. Ширяєва С. В. Логістика мультимодальних перевезень вантажів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. Вип. 26 С. 358–362.

References:

1. Ustenko M.O. (2015). Osnovni napriamky rozvytku ta zavdannia transportnoi logistyky [The main directions of development and tasks of transport logistics]. *Global and national economic problems*, 5, 251–254 [in Ukrainian].
2. Kopytko V.I. (2008). Upravlinnia transportno-logistychnymy systemamy na regionalnomu rivni [Management of transport and logistics systems at the regional level]. *Socio-economic problems of the modern period of Ukraine*, 4(72), 45–53 [in Ukrainian].
3. Popova N.V., Shynkarenko V.Gh. (2016) Suchasni tendenciji rozvytku transportno-logistychnykh system [Current trends in the development of transport and logistics systems]. *Bulletin of Economics of Transport and Industry*, 53, 54–60 [in Ukrainian].
4. Kiriukhina, O. Yu. Transportno-lohistrychnyi tsentr iak lanka v systemi kombinovanykh perevezen [Transport and logistics center as a link in the system of combined transport]. URL: <http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Upsal-/2008-5/08koysct.pdf> (23.12.2023) [in Ukrainian].
5. Dashchenko, N. M. «Rozvytok lohistrychnykh tsentriv na suchasnomu etapi» [The development of logistics centers today]. URL: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Upsal/2009_6/09dnmcps.pdf (23.12.2023) [in Ukrainian].

6. Pasichnyk A., Lebid I., Kushchenko Ye. (2022). Analiz efektyvnosti pobudovy merezitransportno-logistychnykh kompleksiv na osnovi faktorno-reityngovoyi modeli [Analysis of the efficiency of building a network of transport and logistics complexes based on the factor-rating model]. *Transportation organization and transport safety. «Transport systems and technologies» series*, 39, 216–228 [in Ukrainian].
7. Iliencko O. V., Katerna O. K. (2016) Heolohistyka [Geologistics]: tutorial. Kyiv: Kondor [in Ukrainian].
8. Hrytsevych V. S., Senkiv M. I. (2017) Poniattievo-terminolohichni osnovy heolohistyky yak aktualnoho napriamku suspilnoi heohrafiï [Conceptual and terminological basics of geologistics as an actual direction of human geography]. *Economic and social geography*, 78, 53–59 [in Ukrainian].
9. Charlie Young, P. E. Excel solver: which solving method should i choose? Engineerexcel. URL: <https://engineerexcel.com/excel-solver-solving-method-choose/> (дата звернення: 04.01.2024).
10. Shyriaieva S.V. (2012). Logistyka multymodalnykh perevezhen' vantaziv [Logistics of multimodal cargo transportation]. *Bulletin of the National Transport University*, 26, 358–362 [in Ukrainian].

CHOOSING THE OPTIMAL LOCATION PLACE OF THE TRANSPORT AND LOGISTICS CENTER

Bohdan Melnyk, Nazar Duma, Nataliia Melnyk

*Ivan Franko National University of Lviv,
18 Svobody Ave., Lviv, 79008,*

e-mail: bohdan.melnyk@lnu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6399-6317>

e-mail: Nazar.Duma@lnu.edu.ua

e-mail: nataliia.melnyk@lnu.edu.ua; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0745-7527>

Abstract. The article is devoted to determining the optimal location of the transport and logistics center of a motor vehicle enterprise that provides transport services in a limited region. The total length of the transport and logistics center's connection paths with the clients of the transport enterprise was chosen as the optimization criterion. The choice of a mathematical model for determining the optimal location of the transport and logistics center is substantiated. The model involves two stages. At the first stage, the area in which the transport and logistics center will be located is determined. For this, the first optimization problem is solved. In this problem, the objective function is minimized, which calculates the total straight-line distance between the transport and logistics center and all customers in the region, which is conditionally bounded by a normalized unit square. The arguments of the objective function are the coordinates of the center of a certain limited area in which the transport and logistics center is located. At the second stage, the exact coordinates of its location are determined. For this, the second optimization problem is solved, in which the objective function takes into account the curvature of the communication paths between the transport and logistics center and customers. The arguments of this objective function are the coordinates of the conditional point where the transport and logistics center is located. These coordinates indicate its optimal location. Partial cases for the second optimization problem are considered. The combined gradient method was chosen for solving optimization problems. A software environment for solving them is proposed. The proposed model was tested on a test example. The directions of further research are determined.

Keywords: transport and logistics center, trucking company client, optimization problem, coordinates, composite gradient method.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2023

Прийнята до друку 23.11.2023