

## РАЦІОНАЛЬНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СТАНДАРТНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПІД ЧАС РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ УПРАВЛІННЯ

### THE RATIONAL USE OF STANDARD SOFTWARE IN SOLVING CONTROL PROBLEMS

У процесі проведення дослідження було розглянуто аспекти діяльності компанії-товароперевізника, виконано постановку завдання лінійної оптимізації для знаходження найкоротшого маршруту доставки товарів замовникам. Побудовано економіко-математичну модель для розв'язання цієї задачі, яка була реалізована за допомогою надбудови MS Excel «Пошук рішення». У статті представлено, що цю задачу можливо розв'язати не лише симплекс, а й еволюційним методом за різної кількості замовників. Констатовано, що довжина мінімальних маршрутів, знайдених обома способами, однакова. Також співпадає і послідовність об'їзду магазинів. Виконано порівняння симплекс та еволюційного методів за часом знаходження розв'язку, за можливістю та легкістю адаптації моделі у разі зміни кількості точок маршруту. Використання еволюційного методу дає змогу забезпечити менеджерів підприємств набором економіко-математичних інструментів у разі розширення мережі замовників для осмисленого й обґрунтованого прийняття рішень. Важливість розв'язання поставленої задачі визначається необхідністю пошуку резервів зниження витрат на перевезення, тобто визначення найкращого маршруту, що призведе до економії матеріальних ресурсів.

**Ключові слова:** логістика, задачі лінійної оптимізації, симплекс-метод, еволюційний метод, мінімізація маршруту доставки товарів замовникам.

В процессе проведения исследования были рассмотрены аспекты деятельности компании-товароперевозчика, выполнена постановка задачи линейной оптимизации для нахождения кратчайшего маршрута доставки товаров заказчиком. Построена экономико-математическая модель для решения этой задачи, которая была реализована с помощью надстройки MS Excel «Поиск решения». В статье представлено, как эту задачу можно решить не только симплекс, но и эволюционным методом при разном количестве заказчиков. Констатировано, что длина минимальных маршрутов, найденных этими способами, одинакова. Также совпадает и последовательность объезда магазинов. Кроме того, выполнено сравнение симплекс и эволюционного методов по времени нахождения решения, по возможности и легкости адаптации модели в случае изменения количества точек маршрута. Использование эволюционного метода позволяет обеспечить менеджеров предприятий набором экономико-математических инструментов в случае расширения сети заказчиков для осмысленного и обоснованного принятия решения. Важность решения поставленной задачи определяется необходимостью поиска резервов снижения затрат на перевозку, то есть определения наилучшего маршрута, что приведет к экономии материальных ресурсов.

**Ключевые слова:** логистика, задачи линейной оптимизации, симплекс-метод, эволюционный метод, минимизация маршрута доставки товаров заказчиком.

УДК 004.9:005:339.1:658.788

DOI: <https://doi.org/10.32843/infracruct50-19>

**Івашко Л.М.**

к.е.н., доцент, доцент кафедри менеджменту та інновацій  
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

**Мошан А.Т.**

магістрант  
Одеський національний університет імені І.І. Мечникова

**Ivashko Larysa**

Odesa I.I. Mechnikov National University

**Moshan Alina**

Odesa I.I. Mechnikov National University

*Currently, suppliers of goods and services are interested in increasing the number of customers. In addition, managers use standard software to optimize the logistics tasks they solve. Some tasks may be difficult and may require additional software. These problems can be solved using another method of standard software. Usually, the implementation of linear logistics models is carried out using the simplex method. With more than 13 customers, the simplex method requires additional software. But the evolutionary method can also be used to solve these problems effectively. With the evolutionary method can solve logistics problems with more variables without the need for additional software. In the course of the research, aspects of the activity of the carrier company were considered, the problem of linear optimization was set to find the shortest route for the delivery of goods to customers. An economic-mathematical model was also built to solve this problem, which was implemented using the MS Excel add-on "Solution Search". The article presents how this problem can be solved not only by simplex, but also by an evolutionary method with different numbers of customers. It was stated that the length of the minimum routes found in both ways is the same. The sequence of shopping tours also coincides. In addition, a comparison of simplex and evolutionary methods by the time of finding the solution in the "Solution Search", the possibility and ease of adaptation of the model in the event of a change in the number of waypoints. The paper shows that the evolutionary method is less cumbersome, in contrast to the simplex method, and allows you to solve the problem of finding the minimum delivery route for goods with more points without purchasing additional software. The use of the evolutionary method allows to provide managers of enterprises with a set of economic and mathematical tools in the case of expanding the network of customers, which allows meaningful and reasonable to make optimal decisions. The importance of solving this problem is determined by the need to find reserves to reduce transportation costs, ie to determine the best route that will save material resources.*

**Key words:** logistics, linear optimization problems, simplex method, evolutionary method, minimization of the route of delivery of goods to customers.

**Постановка проблеми.** Вплив логістики на ефективність і конкурентоспроможність підприємства залежить від місця, яке вона займає у стратегії підприємства й як вона реалізується, адже основною функцією логістичної системи є обслуговування споживачів. Через пандемію основні проблеми логістики пов'язані із серйозними затримками щодо постачання і псування товарів з особливими властивостями, тому будь-яка

затримка відправлення товарів істотно впливає на доходи власників.

Актуальність проблеми оптимізації задач логістики пояснюється тим, що в умовах пандемії постачальник не може дозволити собі відмовитися від зростання кількості замовників (розширення мережі замовників) та від збільшення відстані до місця розташування цих замовників. З економічного погляду призначення логістики – створення

у логістичному ланцюжку істотних вигід, що містять додану вартість за підтримки витрат на ефективному рівні, тому витрати логістичної системи підприємства стають провідним параметром оптимізації.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемам ефективності логістики приділяється значна увага у дослідженнях науковців. Наприклад, у праці Л.В. Савченко та М.Ю. Григорак [1] розглянуто ефективне використання класичних методів дослідження операцій для вирішення специфічних логістичних задач. Дослідження В.В. Хорошуна та І.А. Науменко [2] присвячене методології моделювання збутової логістики та оптимізації логістичних потоків підприємства. У наукових працях О.Г. Додонова та А.І. Кузьмичова [3] знайшли відображення проблеми розв'язання задач комівояжера за допомогою оптимізаційних моделей еволюційного програмування у MS Excel.

Нині постачальники товарів і послуг зацікавлені у збільшенні кількості замовників. До того ж менеджери для оптимізації розв'язуваних задач застосовують стандартне програмне забезпечення. Але під час розв'язання низки задач логістики, зокрема за збільшення кількості замовників, можуть виникнути певні труднощі, та їх усунення вимагає застосування додаткового програмного забезпечення. Разом із тим ці задачі можуть бути вирішені за допомогою іншого методу стандартного програмного забезпечення.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розкриття практичних аспектів оптимізації логістичних задач за значної кількості змінних на прикладі компанії-товароперевізника.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Логістика у сучасних умовах є одним із дієвих чинників підвищення ефективності економіки підприємства. Як і інші традиційні функції управління, вона орієнтується на перспективні інформаційні технології, економіко-математичні методи і моделі, що забезпечують відповідність управлінських рішень на різних рівнях відповідальності постійно мінливим внутрішнім і зовнішнім умовам бізнесу. До того ж різноманіття логістичних задач визначає специфіку організації та вдосконалення управління матеріальними затратами. До таких задач досить складно підійти з використанням типових рішень як у сфері інформаційних технологій, так і моделей управління постачанням товарів замовникам.

Зазвичай логістичні задачі про вибір оптимального маршруту об'їзду декількох клієнтів реалізуються у надбудові «Пошук рішення» середовища Excel за допомогою симплекс-методу. Разом із тим для ефективного розв'язання цих задач може застосовуватися еволюційний метод. Тим більше за кількості замовників понад 13 симплекс-метод вимагає залучення додаткового програмного за-

безпечення. Водночас за допомогою еволюційного методу можна розв'язати зазначені логістичні задачі за більшої кількості змінних без придбання додаткового програмного забезпечення. Покажемо, як розв'язується логістична оптимізаційна задача про вибір оптимального маршруту об'їзду для різної кількості замовників.

Корпорація «Мірс» працює на ринку професійного та побутового посуду України з 1992 р. та займає лідируючі позиції на українському ринку у сегменті торгівлі та дистрибуції [4]. Партнерська мережа компанії налічує понад 50 виробників високоякісної побутової техніки та посуду, продукцію яких вона представляє у понад 30 містах України. Із 1999 р. компанія поставляє товари для hotels, акцентуючи увагу на комплексному оснащенні барів, ресторанів і готельних комплексів.

На даному підприємстві логістичні витрати – це значна стаття витрат, тому необхідно мінімізувати витрати на перевезення продукції замовникам. Компанія «Мірс» має мережу з 12 магазинів аксесуарів для кухні. Усі магазини забезпечуються одним складом. Доставка здійснюється однією автомашиною, яка належить фірмі, раз на декілька днів. До того ж на складі формується вантаж, який завжди можна розвести за одну поїздуку. Машина забирає його зі складу і розвозить по магазинах, об'їжджаючи їх по черзі, та повертається на склад. Сформулюємо задачу лінійної оптимізації для знаходження найкоротшого за загальною протяжністю маршруту доставки товарів замовникам, що дає змогу об'їхати всі 12 магазинів і повернутися на склад. Тож маємо класичну задачу комівояжера [5].

Отже, користуючись докладною картою міста, можна представити всі можливі ділянки шляху між магазинами і складом. Відстані між магазинами та магазинами і складом для розв'язання задачі представимо за допомогою матриці (рис. 1).

Економіко-математична модель задачі мінімізації затрат на доставку товарів замовникам, а саме мінімізації довжини маршруту об'їзду магазинів, представлена формулами 1, 2. Цільова функція – довжина шляху – з використанням даних матриці відстаней між магазинами (рис. 1) має вигляд:

$$Z = \sum_{i=1}^{13} 0 \cdot x_{11} + 7,2 \cdot x_{12} + 10,6 \cdot x_{13} \dots 11,7 \cdot x_{1311} + 18,9 \cdot x_{1412} + 0 \cdot x_{1513} \rightarrow \min \quad (1)$$

Обмеження представлені системою (2).

$u_i + u_j + (13 - 1) \cdot x_{ij} \leq 13 - 2$  – це спеціальна умова, яка забезпечує замкнутість маршрутів та відсутність підциклів (непов'язаних між собою).

Дана модель буде реалізована за допомогою надбудови «Пошук рішення» середовища MS Excel. Для розв'язування задачі, представленої моделлю 1–2, застосуємо симплекс-метод, а далі й еволюційний метод.

Матриця координат магазинів та складу представлена у табл. 1. У таблиці задано значення

	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Відстань, км	База	Mr №1	Mr №2	Mr №3	Mr №4	Mr №5	Mr №6	Mr №7	Mr №8	Mr №9	Mr №10	Mr №11	Mr №12
2	База	0	7,2	10,6	4,5	3,2	7,1	8,1	10,8	10,3	9,5	3,2	10,8	10
3	Mr №1	7,2	0	12	4	4,2	5,1	14,9	3,6	12,1	5,8	9,9	17,7	5
4	Mr №2	10,6	12	0	13	9,8	7	16,6	14,1	20,8	17,5	9,4	13	9,5
5	Mr №3	4,5	4	13	0	3,2	7,1	11,2	7,3	8,6	5,1	7,6	15,3	8,5
6	Mr №4	3,2	4,2	9,8	3,2	0	4,5	11,2	7,8	11,3	8	5,7	13,5	7
7	Mr №5	7,1	5,1	7	7,1	4,5	0	15	7,3	15,6	10,8	8,2	15,3	3,6
8	Mr №6	8,1	14,9	16,6	11,2	11,2	15	0	18,4	10,4	14,9	7,3	8,2	18,1
9	Mr №7	10,8	3,6	14,1	7,3	7,8	7,3	18,4	0	14,3	6,7	13,5	21,2	5,1
10	Mr №8	10,3	12,1	20,8	8,6	11,3	15,6	10,4	14,3	0	8	12,6	18	17
11	Mr №9	9,5	5,8	17,5	5,1	8	10,8	14,9	6,7	8	0	12,6	20,1	10,6
12	Mr №10	3,2	9,9	9,4	7,6	5,7	8,2	7,3	13,5	12,6	12,6	0	7,8	11,7
13	Mr №11	10,8	17,7	13	15,3	13,5	15,3	8,2	21,2	18	20,1	7,8	0	18,9
14	Mr №12	10	5	9,5	8,5	7	3,6	18,1	5,1	17	10,6	11,7	18,9	0

Рис. 1. Матриця відстаней

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{13} x_{ij} = 1, i = \overline{1, 13} \text{ (заїзд у } i \text{ – тий магазин)} \\ \sum_{j=1}^{13} x_{ij} = 1, i = \overline{1, 13} \text{ – (виїзд з } i \text{ – того магазину)} \\ \text{Булеві змінні:} \\ x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо автомобіль переїжджає з магазину } i \text{ в магазин } j \text{ (} i, j = \overline{1, 13} \text{)} \\ 0, \text{ в іншому разі} \end{cases} \\ u_i \geq 0 \text{ – номер кроку, на якому автомобіль заїде у } i \text{ – тий магазин;} \\ i \neq j, i = \overline{2; 13}; j = \overline{2; 13} \\ u_i + u_j + (13 - 1) * x_{ij} \leq 13 - 2 \end{array} \right. \quad (2)$$

точок на площині за допомогою двох координат. Таким чином, геометрично кожна точка, у нашому разі магазин, задається значеннями координат вектора щодо вибраної нами системи координат. Координати точок будемо розглядати як елементи матриці  $(x; y)$ . На основі цієї матриці зможемо побудувати точкову діаграму розташування точок на площині (рис. 2).

У подальшому, після отримання результату, зможемо представити мінімальний маршрут.

Таблиця 1

Матриця координат

Назва	X	Y
База	10	11
Mr №1	6	5
Mr №2	18	4
Mr №3	6	9
Mr №4	9	8
Mr №5	11	4
Mr №6	11	19
Mr №7	4	2
Mr №8	1	16
Mr №9	1	8
Mr №10	13	12
Mr №11	19	17
Mr №12	9	1

Джерело: сформовано авторами

Сформуємо матрицю  $X = \{x_{ij}\}$  – шуканий результат у матричній формі, множина шуканих невідомих, де:  $x_{ij} = 1$ , якщо  $(i, j)$ , точка належить шуканому маршруту,  $x_{ij} = 0$  – в іншому разі або  $X = \{x_{ij}\}$  – шуканий результат, множина шуканих невідомих у вигляді комбінації 13 точок (магазинів та складу). Матриця  $X$  являє собою область змінних.

На рис. 3 показано обмеження у надбудові «Пошук рішення», які необхідно врахувати для розв'язання задачі.

Щодо обмежень, представлених на рисунку 3:

- змінні повинні бути бінарними;
- друге та шосте обмеження задають магазини, які потрібно об'їхати;
- третє та сьоме обмеження необхідні для вилучення поворотних маршрутів;
- четверте та п'яте – для «0» по діагоналі матриці  $X$  та для перевірки останньої точки маршруту.

Очевидно, що симплекс-метод потребує громіздкої моделі. Для нього потрібен значний перелік змінних та обмежень. У середовищі MS Excel існують жорсткі рамки щодо цього. Задача, яку можливо розв'язати цим методом, максимально повинна містити 13 точок. Існують досить дорогі платні розширення, що позбавлені цих обмежень.

За допомогою надбудови «Пошук рішення» знайдено шуканий розв'язок (рис. 4). На рис. 4 представлено розв'язок задачі, на основі якого є

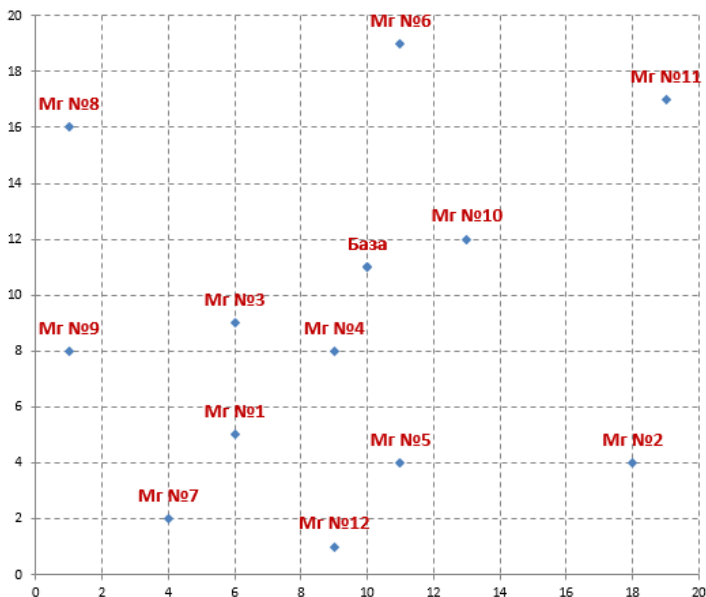


Рис. 2. Точкова діаграма координат

можливість побудувати найкоротший маршрут довжиною 79 км. Це значення цільової функції. Воно представлено у клітинці P38.

Знайдений мінімальний маршрут доставки товарів від складу до магазинів із використанням засобів MS Excel зображено на рис. 5.

Отже, для того щоб маршрут був мінімальним (79 км), план доставки товарів повинен бути заданий такою послідовністю: Склад, Mr №10, Mr №11, Mr №6, Mr №8, Mr №9, Mr №3, Mr №1, Mr №7, Mr №12, Mr №5, Mr №2, Склад.

На основі даних, використаних під час розв'язання задачі симплекс-методом, а саме матриці відстаней (рис. 1), матриці координат (табл. 2) та точкової діаграми координат (рис. 2), розглянемо також варіант знаходження оптимального маршруту з використанням еволюційного методу.

Для початку сформуємо таблицю, у якій зберігатимуться дані про маршрут. Як показано на рис. 6, у стовпці В відображено структуру маршруту об'їзду: починаємо зі складу, об'їжджаємо всі 12 магазинів і повертаємося на склад.

Початок і кінець маршруту завжди фіксовані, тому у стовпці С навпроти складу зазначено його числовий ідентифікатор – 0. Надалі у стовпці С за допомогою генетичного алгоритму будуть розставлені числові ідентифікатори магазинів послідовно до їх відвідування. У стовпці D вираховуємо відстань між двома найближчими точками маршруту за допомогою

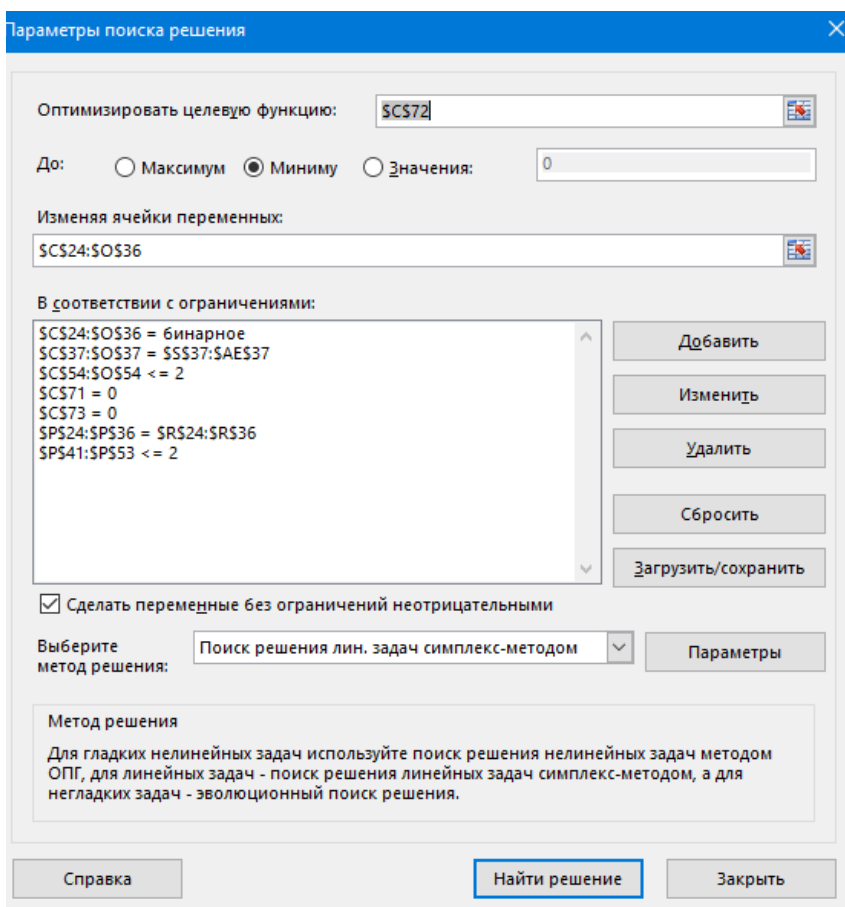


Рис. 3. Обмеження для розв'язання задачі симплекс-методом



	В	С	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
23	Відстань, км	База	Mr №1	Mr №2	Mr №3	Mr №4	Mr №5	Mr №6	Mr №7	Mr №8	Mr №9	Mr №10	Mr №11	Mr №12	
24	База	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
25	Mr №1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
26	Mr №2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
27	Mr №3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
28	Mr №4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
29	Mr №5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
30	Mr №6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
31	Mr №7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
32	Mr №8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
33	Mr №9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
34	Mr №10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
35	Mr №11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
36	Mr №12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
37		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
38														ЦФ	79

Рис. 4. Розв'язок задачі

функції ІНДЕКС (рис. 6). Вона має такий синтаксис: ІНДЕКС (Масив; номер\_рядка; [номер\_стовпчика]). Як перший параметр зазначаємо табличний масив із відстанями між магазинами, другий параметр – числовий ідентифікатор попередньої точки маршруту +1 (додаємо одиницю, тому що нумерація рядків у функції ІНДЕКС починається з одиниці), третій параметр – числовий ідентифікатор наступної точки маршруту +1. На рис. 6 у клітинці С37 вказана формула СУММ, що дає змогу знайти довжину всього шляху – цільову функцію (ЦФ), яку потрібно мінімізувати.

Із застосуванням еволюційного методу надбудови «Пошук рішення» знайдено розв'язок задачі знаходження мінімального маршруту доставки товарів 12 магазинам фірмою «Мірс» (рис. 7).

У першому полі «Пошуку рішення» (рис. 7) задаємо ЦФ. У наступному – зазначаємо діапазон змінних С23:С34. Він являє собою числові ідентифікатори магазинів у порядку їх відвідування. На цей самий діапазон задаємо обмеження, які відображають природу даних, що повинні там зберігатися: цілі числа від 1 до 13, без повторів.

Також для графічного відображення знайденого маршруту нам необхідна таблиця, у якій у порядку слідування міститимуться координати точок маршруту. Можна побудувати таку таблицю вручну, але краще динамічно обчислювати її за допомогою формул (рис. 8). У стовпці G за допомогою функції CONCATENATE (ЗЧЕПИТИ) отримуємо назву магазину, з'єднуючи текст «Mr №» із числовим індексом магазину. У стовпці H використовуємо вже відому формулу ІНДЕКС для відображення коор-

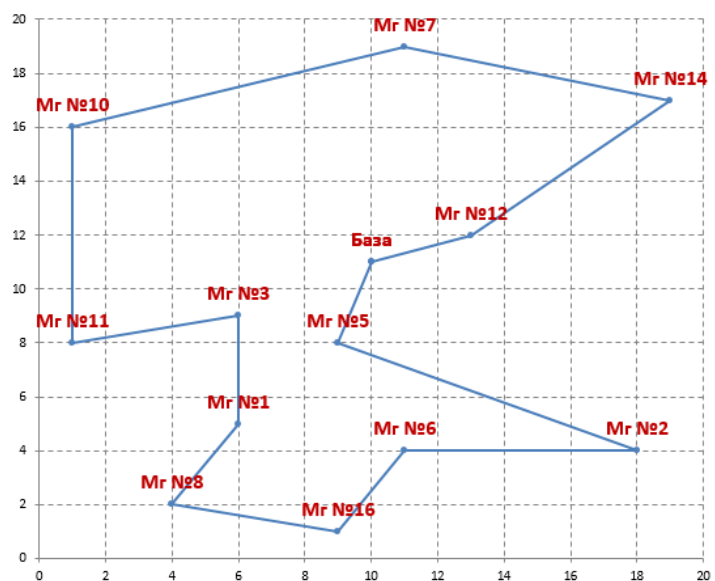


Рис. 5. Мінімальний маршрут доставки товарів

	В	С	D
22	База		0
23	1-й магазин		0
24	2-й магазин		0
25	3-й магазин		0
26	4-й магазин		0
27	5-й магазин		0
28	6-й магазин		0
29	7-й магазин		0
30	8-й магазин		0
31	9-й магазин		0
32	10-й магазин		0
33	11-й магазин		0
34	12-й магазин		0
35	База		0 =ІНДЕКС(\$I\$2:\$U\$14;C34+1;C35+1)
36			
37	ЦФ		=СУММ(D23:D35)

Рис. 6. Застосування функцій ІНДЕКС та СУММ

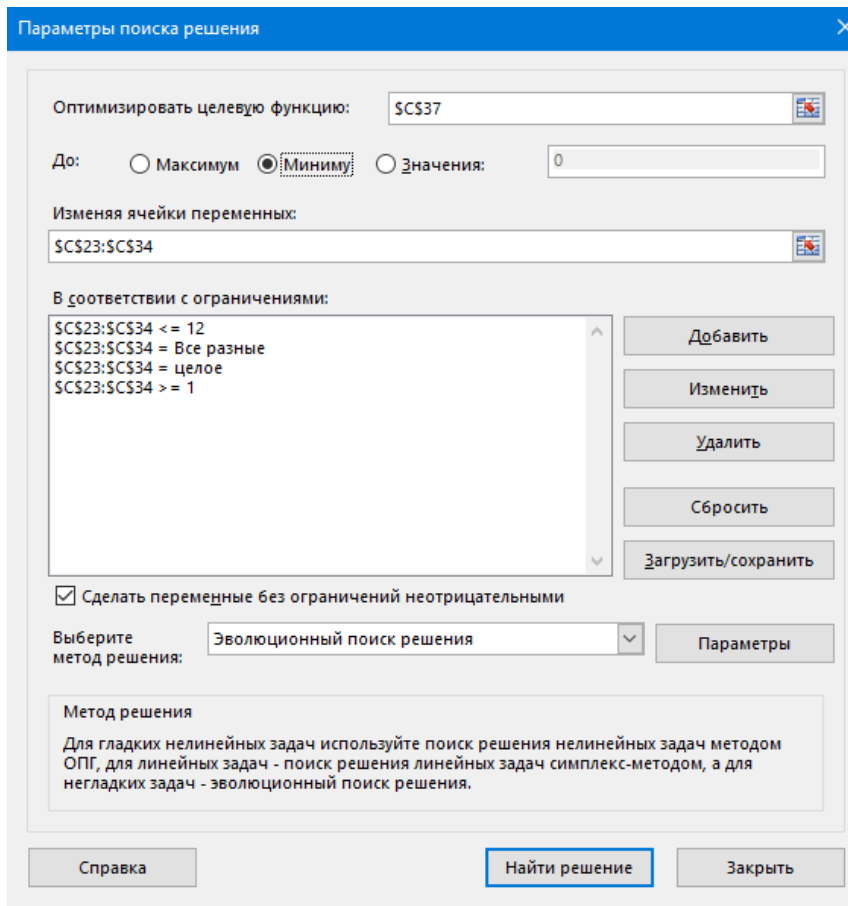


Рис. 7. Параметры «Пошуку рішення»

	G	H	I
22	База	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C22+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C22+1;2)
23	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C23)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C23+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C23+1;2)
24	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C24)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C24+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C24+1;2)
25	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C25)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C25+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C25+1;2)
26	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C26)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C26+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C26+1;2)
27	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C27)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C27+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C27+1;2)
28	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C28)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C28+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C28+1;2)
29	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C29)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C29+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C29+1;2)
30	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C30)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C30+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C30+1;2)
31	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C31)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C31+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C31+1;2)
32	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C32)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C32+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C32+1;2)
33	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C33)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C33+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C33+1;2)
34	=СЦЕПИТЬ("Мг №";C34)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C34+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C34+1;2)
35	База	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C35+1;1)	=ИНДЕКС(\$C\$2:\$D\$15;\$C35+1;2)

Рис. 8. Таблица координат точек маршруту

динати X для відповідного магазину з таблиці з координатами, у стовпці I – відповідно, координати Y (рис. 8).

За допомогою еволюційного методу надбудови «Пошук рішення» знайдено шуканий розв’язок (рис. 9).

Візуалізація мінімального маршруту доставки товарів, отриманого за допомогою еволюційного методу, дає змогу стверджувати, що маршрути

однакові. Також співпадають мінімальна довжина маршруту (79 км) і послідовність об’їзду магазинів.

Порівняємо симплекс та еволюційний методи за часом знаходження розв’язку у «Пошуку рішення». Для цього зробимо п’ять запусків, зафіксуємо час виконання, на основі якого побудуємо об’ємну гістограму (рис. 10).

За результатами порівняння часу знаходження розв’язку лідирує симплекс-метод, оскільки значна

кількість обмежень сприяє зменшенню можливих варіантів розв'язання, а тому прискорює час виконання задачі за допомогою надбудови «Пошук рішення» (рис. 10).

Окрім швидкості роботи, беззаперечною перевагою симплекс-методу є також легкість адаптації його моделі у разі зміни кількості точок маршруту. Модель для еволюційного алгоритму потребує внесення вручну змін до списку обмежень, тоді як

модель для симплекс-методу можна побудувати так, щоб достатньо було змінити таблицю налаштувань: позначити цифрою 1 точки, які потрібно об'їхати, та цифрою 0 – в іншому разі.

Оскільки підприємством планується у найближчій перспективі збільшення кількості магазинів, то ми використаємо еволюційний метод для запланованих 18 магазинів, тому що задачу об'їзду 18 магазинів не можна розв'язати симплекс-методом

	B	C	D	E	F	G	H	I
22	База	0				База	10	11
23	1-й магазин	4	3,2			Mr №4	9	8
24	2-й магазин	2	9,8			Mr №2	18	4
25	3-й магазин	5	7			Mr №5	11	4
26	4-й магазин	12	3,6			Mr №12	9	1
27	5-й магазин	7	5,1			Mr №7	4	2
28	6-й магазин	1	3,6			Mr №1	6	5
29	7-й магазин	3	4			Mr №3	6	9
30	8-й магазин	9	5,1			Mr №9	1	8
31	9-й магазин	8	8			Mr №8	1	16
32	10-й магазин	6	10,4			Mr №6	11	19
33	11-й магазин	11	8,2			Mr №11	19	17
34	12-й магазин	10	7,8			Mr №10	13	12
35	База	0	3,2			База	10	11
36								
37	ЦФ		79					

Рис. 9. Результати розв'язання у табличному вигляді

Порівняння швидкості роботи

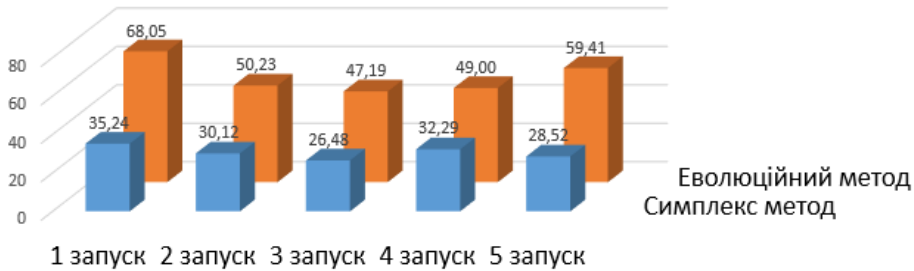


Рис. 10. Тривалість знаходження розв'язку у надбудові «Пошук рішення»

	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
2	Відстань, км	База	Mr №1	Mr №2	Mr №3	Mr №4	Mr №5	Mr №6	Mr №7	Mr №8	Mr №9	Mr №10	Mr №11	Mr №12	Mr №13	Mr №14	Mr №15	Mr №16	Mr №17	Mr №18
3	База	0	7,2	10,6	4,5	8,1	3,2	7,1	8,1	10,8	11,4	10,3	9,5	3,2	7,6	10,8	7,1	10	6,4	9,2
4	Mr №1	7,2	0	12	4	10,4	4,2	5,1	14,9	3,6	13,9	12,1	5,8	9,9	7,1	17,7	13,9	5	2,2	3,6
5	Mr №2	10,6	12	0	13	18,6	9,8	7	16,6	14,1	22	20,8	17,5	9,4	5	13	15,7	9,5	13,3	10,2
6	Mr №3	4,5	4	13	0	6,7	3,2	7,1	11,2	7,3	10,3	8,6	5,1	7,6	8,6	15,3	10,3	8,5	2,2	7,3
7	Mr №4	8,1	10,4	18,6	6,7	0	9,2	13,6	8,9	13	3,6	2,2	7,3	10,4	14,9	16,1	8,5	15,2	8,2	13,9
8	Mr №5	3,2	4,2	9,8	3,2	9,2	0	4,5	11,2	7,8	12,8	11,3	8	5,7	5,7	13,5	10,2	7	4,1	6,1
9	Mr №6	7,1	5,1	7	7,1	13,6	4,5	0	15	7,3	17,2	15,6	10,8	8,2	2	15,3	14	3,6	6,7	3,6
10	Mr №7	8,1	14,9	16,6	11,2	8,9	11,2	15	0	18,4	10	10,4	14,9	7,3	15,1	8,2	1	18,1	13,4	17,3
11	Mr №8	10,8	3,6	14,1	7,3	13	7,8	7,3	18,4	0	16,3	14,3	6,7	13,5	9,2	21,2	17,5	5,1	5,1	4
12	Mr №9	11,4	13,9	22	10,3	3,6	12,8	17,2	10	16,3	0	2	10	13,4	18,4	18	10	18,8	11,7	17,5
13	Mr №10	10,3	12,1	20,8	8,6	2,2	11,3	15,6	10,4	14,3	2	0	8	12,6	17	18	10,2	17	9,8	15,7
14	Mr №11	9,5	5,8	17,5	5,1	7,3	8	10,8	14,9	6,7	10	8	0	12,6	12,6	20,1	14,1	10,6	4,1	9,2
15	Mr №12	3,2	9,9	9,4	7,6	10,4	5,7	8,2	7,3	13,5	13,4	12,6	0	8	7,8	6,3	11,7	9,4	11,2	
16	Mr №13	7,6	7,1	5	8,6	14,9	5,7	2	15,1	9,2	18,4	17	12,6	8	0	14,3	14,1	5	8,5	5,4
17	Mr №14	10,8	17,7	13	15,3	16,1	13,5	15,3	8,2	21,2	18	18	20,1	7,8	14,3	0	8,1	18,9	17,2	18,6
18	Mr №15	7,1	13,9	15,7	10,3	8,5	10,2	14	1	17,5	10	10,2	14,1	6,3	14,1	8,1	0	17,1	12,5	16,3
19	Mr №16	10	5	9,5	8,5	15,2	7	3,6	18,1	5,1	18,8	17	10,6	11,7	5	18,9	17,1	0	7,2	1,4
20	Mr №17	6,4	2,2	13,3	2,2	8,2	4,1	6,7	13,4	5,1	11,7	9,8	4,1	9,4	8,5	17,2	12,5	7,2	0	5,8
21	Mr №18	9,2	3,6	10,2	7,3	13,9	6,1	3,6	17,3	4	17,5	15,7	9,2	11,2	5,4	18,6	16,3	1,4	5,8	0

Рис. 11. Матриця відстаней

	A	B	C
1	Назва	X	Y
2	База	10	11
3	Mr №1	6	5
4	Mr №2	18	4
5	Mr №3	6	9
6	Mr №4	3	15
7	Mr №5	9	8
8	Mr №6	11	4
9	Mr №7	11	19
10	Mr №8	4	2
11	Mr №9	1	18
12	Mr №10	1	16
13	Mr №11	1	8
14	Mr №12	13	12
15	Mr №13	13	4
16	Mr №14	19	17
17	Mr №15	11	18
18	Mr №16	9	1
19	Mr №17	5	7
20	Mr №18	8	2

Рис. 12. Координати магазинів

без придбання додаткового програмного забезпечення.

Отже, із застосуванням карти міста відстані між магазинами та магазинами і складом показані на рис. 11.

Будуємо матрицю відстаней між магазинами та магазинами і складом у MS Excel (рис. 12). Вона необхідна для візуалізації маршруту, а координати відповідають місцезнаходженню магазинів.

	A	B	C	D	E	F	G	H
24						Название	X	Y
25	База	0				База	10	11
26	1-й магазин	5	3,2			Mr №5	9	8
27	2-й магазин	2	9,8			Mr №2	18	4
28	3-й магазин	13	5			Mr №13	13	4
29	4-й магазин	6	2			Mr №6	11	4
30	5-й магазин	16	3,6			Mr №16	9	1
31	6-й магазин	18	1,4			Mr №18	8	2
32	7-й магазин	8	4			Mr №8	4	2
33	8-й магазин	1	3,6			Mr №1	6	5
34	9-й магазин	17	2,2			Mr №17	5	7
35	10-й магазин	3	2,2			Mr №3	6	9
36	11-й магазин	11	5,1			Mr №11	1	8
37	12-й магазин	4	7,3			Mr №4	3	15
38	13-й магазин	10	2,2			Mr №10	1	16
39	14-й магазин	9	2			Mr №9	1	18
40	15-й магазин	7	10			Mr №7	11	19
41	16-й магазин	15	1			Mr №15	11	18
42	17-й магазин	14	8,1			Mr №14	19	17
43	18-й магазин	12	7,8			Mr №12	13	12
44	База	0	3,2			База	10	11
45								
46	ЦФ		83,7					

Рис. 13. Результати розв'язання задачі для 18 магазинів еволюційним методом у табличному вигляді

Аналогічно представленому вище алгоритму розв'язання задачі еволюційним методом запишемо обмеження у надбудову «Пошук рішення» та отримаємо результати (рис. 13).

Візуалізуємо отримані результати. На рис. 14 відтворено оптимальний маршрут об'їзду автомобілем магазинів на основі таблиці з координатами (рис. 13) за допомогою вкладки «Вставка» – «Діаграми».

Отже, для того, щоб маршрут був мінімальним і становив 83,7 км, план доставки товарів повинен бути заданий такою послідовністю: Склад, Mr №5, Mr №2, Mr №13, Mr №6, Mr №16, Mr №18, Mr №8, Mr №1, Mr №17, Mr №3, Mr №11, Mr №4, Mr №10, Mr №9, Mr №7, Mr №15, Mr №14, Mr №12, Склад.

### Висновки з проведеного дослідження.

У роботі показано, що еволюційний метод менш громіздкий на відміну від симплекс-методу та дає змогу розв'язувати задачі знаходження мінімального маршруту доставки товарів із більшою кількістю точок без придбання додаткового програмного забезпечення. Це важливо за умови розширення мережі магазинів підприємства.

Симплекс-метод має певні переваги щодо швидкості роботи та гнучкості до внесення змін на відміну від еволюційного методу, адже під час розв'язання задачі за допомогою симплекс-методу можливо зазначити більшу кількість обмежень на відміну від еволюційного, що сприяє швидшому та точнішому пошуку розв'язку. Проте симплекс-метод можливо застосувати лише для обмеженої кількості замовників.

Отже, використання еволюційного методу дає змогу забезпечити менеджерів підприємств



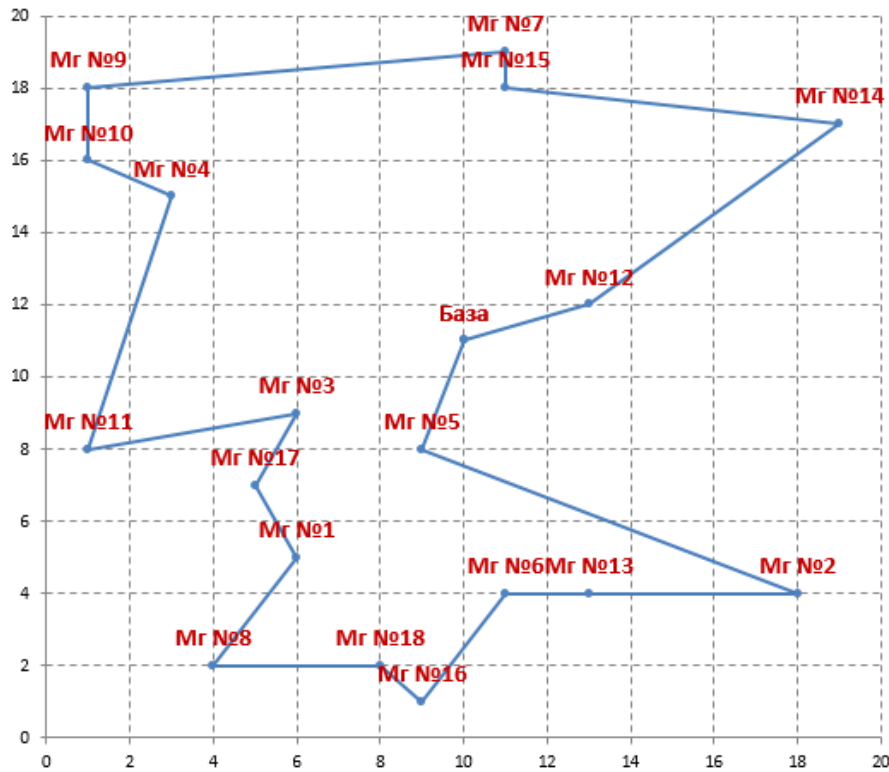


Рис. 14. Оптимальний маршрут доставки товарів у магазини

набором економіко-математичних інструментів для практичного постійного застосування у разі розширення мережі замовників для осмисленого й обґрунтованого прийняття оптимальних рішень. Важливість розв'язання поставленої задачі визначається необхідністю пошуку резервів зниження витрат на перевезення, тобто визначення найкращого маршруту, що призведе до економії матеріальних ресурсів, часу на перевезення тощо.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Савченко Л.В., Григорак М.Ю. Економіко-математичні методи в логістиці : навчальний посібник. Київ : Лотос, 2016. 284 с.
2. Хорошун В.В., Науменко І.А. Економіко-математичні методи та моделі прогнозування збутової логістики торговельного підприємства. *Причорноморські економічні студії*. 2018. Вип. 28–2. С. 179–183.
3. Додонов О.Г., Кузьмичов А.І. Оптимізаційні моделі еволюційного програмування в Excel: розв'язання задачі комівояжера з обмеженнями alldifferent. *Реєстрація, зберігання і обробка даних*. 2011. Т. 13. № 3. С. 3–16.
4. Mirs horeca. URL: <http://horeca.mirs.com.ua/> (дата звернення: 13.11.2020).
5. Зайцев М.Г., Варюхин С.Е. Методы оптимизации управления и принятия решений. Москва : Дело

АНХ, 2008. 664 с. URL: <http://ml.miit-ief.ru/> (дата звернення: 13.11.2020).

#### REFERENCES:

1. Savchenko L.V., Grigorak M.U. (2016) *Ekonomiko-matematychni metody v lohistytsi* [Economic and mathematical methods in logistics]. Kyiv: Lotus. (in Ukrainian)
2. Khoroshun V.V., Naumenko I.A. (2018) *Ekonomiko-matematychni metody ta modeli prohnouzuvannya zbutovoyi lohistyky torhovel'noho pidpryyemstva* [Economic and mathematical methods and models for forecasting sales logistics of a commercial enterprise]. *Black Sea Economic Studies*, vol. 28, no. 2, pp. 179–183.
3. Dodonova O.G., Kuzmichova A.I. (2011) *Optymizatsiyni modeli evolyutsiynoho prohrumuvannya v Excel: rozv'yazannya zadachi komivoyazhera z obmezhennyamy alldifferent*. *Reyestratsiya, zberihannya i obrobka danykh* [Optimization models of evolutionary programming in Excel: solving the problem of a salesman with alldifferent constraints], vol. 13, no. 3, pp. 3–16. (in Ukrainian)
4. Mirs horeca. Available at: <http://horeca.mirs.com.ua> (accessed 13 November 2020).
5. Zaitsev M.G., Varyukhin S.E. (2008) *Metody optimizatsii upravleniya i prinyatiya resheniy* [Methods for optimizing management and decision making]. Moscow: Publishing House "Case" ANH. Available at: <http://ml.miit-ief.ru/> (accessed 13 November 2020).